

## Prolongement d'Eole vers la Défense

E. Egal (Egis), J. Marlinge (Terrasol)

26/03/2015



- 1<sup>ère</sup> partie : Géologie du projet (E. Egal)
- 2<sup>ème</sup> partie : Travaux de reconnaissances pour une nouvelle gare à la Défense (J. Marlinge)

# Prolongement d'Eole vers la Défense

## Caractéristiques du projet

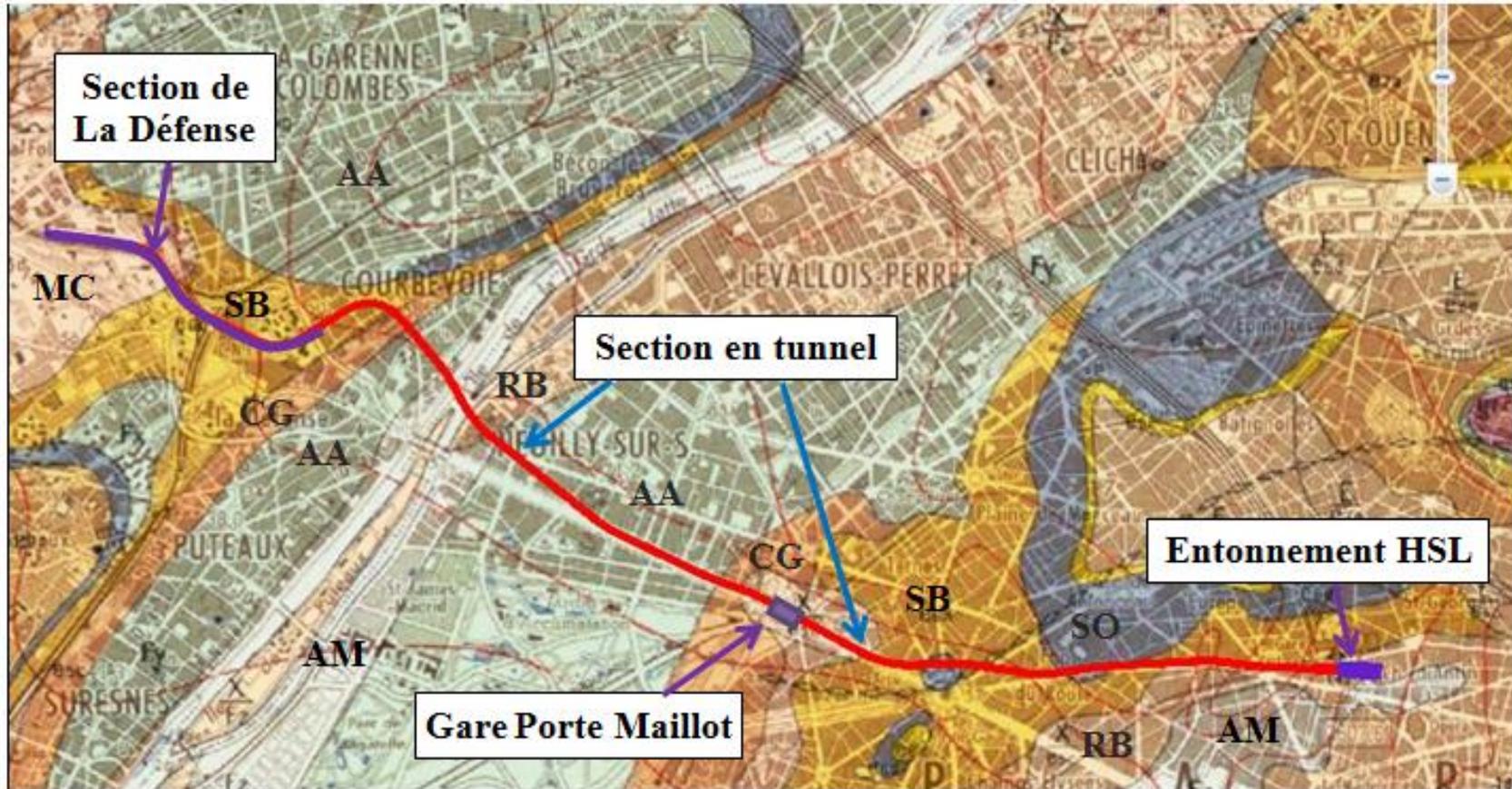


- Le projet global consiste en la réalisation du **prolongement du RER E** entre le terminus actuel, situé à la gare Haussmann – Saint-Lazare à Paris, et la gare de la Folie à Nanterre ;
  - **Origine** du projet : arrière gare existante à Hausmann Saint-Lazare ; réalisation d'un ouvrage d'entonnement (désigné « entonnement HSL ») ;
  - **8,3 km en souterrain** dont 6,2 km en tunnel au tunnelier
  - **Terminaison** du projet : raccordement en surface à la gare de Nanterre la Folie qui doit être restructurée (abaissement du plan des voies, etc...) ;
  - **Ouvrages intermédiaires** : **deux gares** (Porte Maillot à Paris, et CNIT à La Défense, commune de Puteaux) et **neuf puits intermédiaires** d'accès/ventilation.
- → **Reconnaisances** pour l'ensemble du projet : 133 sondages carottés, 73 sondages pressiométriques, 25 sondages destructifs et 4 puits de pompage ; + 1 puits de reconnaissance à la Défense.

# Géologie du projet

# Géologie du projet

## Tracé et géologie



Carte géologique à 1/50000, feuille Paris, BRGM éditeur

# Géologie du projet

## Lithostratigraphie

Ma	SERIE ou EPOQUE	ETAGE	Sous-étage ou équivalent	FORMATION géologique
5	PLIOCENE			Sables de Lozère
34	OLIGOCENE	CHATTIEN ?		Meulière de Montmorency
		RUPELIEN (Stampien)	<i>Stampien s.s.</i>	Sables (et grès) de Fontainebeau Marnes à Huîtres
			<i>Sannoisien</i>	Calcaire de Brie (et de Sannois)
				Argile verte
		EOCENE	PRIABONIEN (Ludien)	
	<i>Bartonien - Priabonien</i>			Masses et marnes de gypse, Calcaire de Champigny, Marnes à Pholadomies...
	BARTONIEN		<i>Marinésien (Bartonien supérieur)</i>	Sables verts ou Sables de Monceau
			<i>Auversien (Barto. inf)</i>	(Marno-)calcaire de St-Ouen (SO) Sables de Beauchamp (SB), Sables d'Auvers
			LUTETIEN	<i>Lutétien supérieur</i>
	<i>Lut. inf. à sup.</i>	Calcaire grossier (CG)		
56	YPRESIEN	<i>Sparnacien</i>	<i>Cuisien</i>	Sables de Cuisse (SC) et/ou
			Sables supérieurs (SS) ou Sables du Soissonnais	
			Fausses glaises (FG)	
			Sables d'Auteuil (SA)	
			Argile plastique (AP)	
65	PALEOCENE	DANIEN ?- SELANDIEN ( <i>Dano-Montien</i> )		Conglomérat de Meudon (absent)
65	PALEOCENE	DANIEN ?- SELANDIEN ( <i>Dano-Montien</i> )		Calcaires et marnes de Meudon (CMM) ou Marno-calcaire du Montien
84	CRETACE SUPERIEUR	CAMPANIEN		Craie à silex

+ Formations superficielles quaternaires (Alluvions anciennes et modernes et remblais)

(Marno-)calcaire de St-Ouen (SO)
Sables de Beauchamp (SB), Sables d'Auvers
Marnes et Caillasses (MC)
Calcaire grossier (CG)
Sables de Cuisse (SC) et/ou
Sables supérieurs (SS) ou Sables du Soissonnais
Fausses glaises (FG)
Sables d'Auteuil (SA)
Argile plastique (AP)

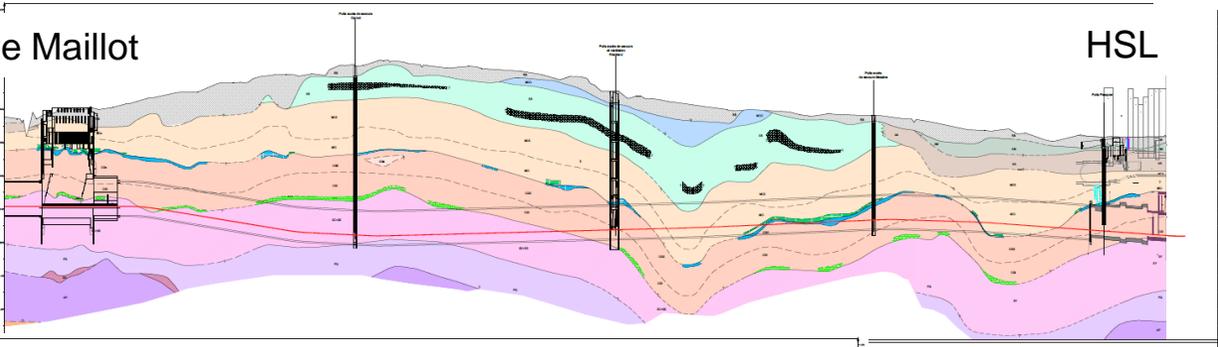
# Géologie du projet

## Profil en long géologique

Est

Porte Maillot

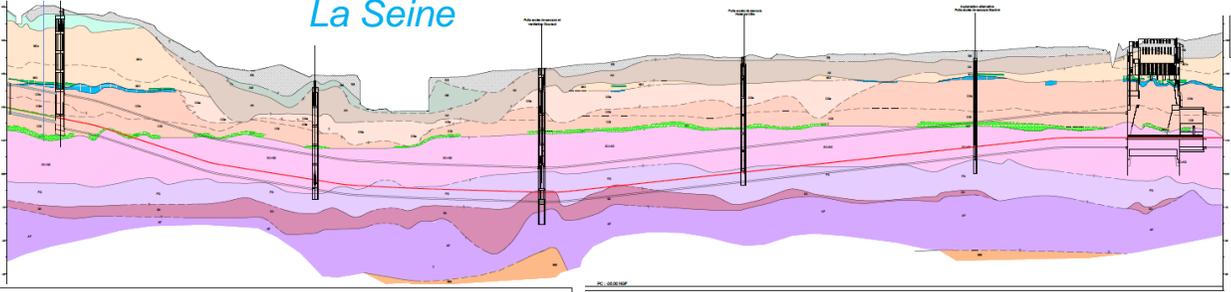
HSL



La Défense

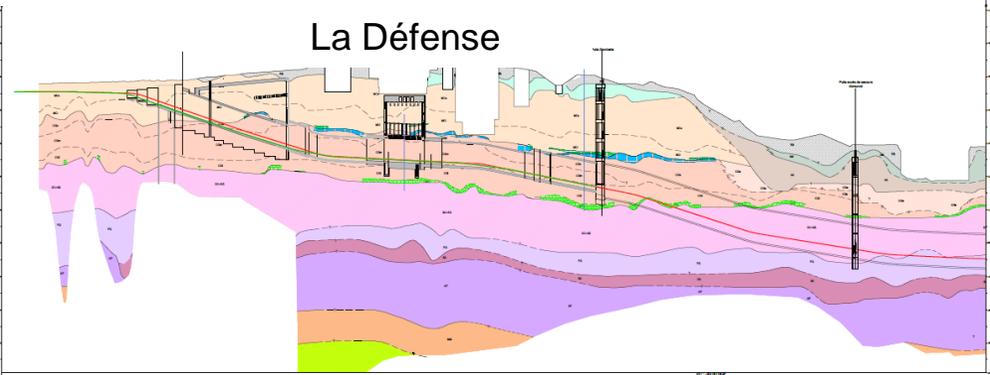
La Seine

Porte Maillot



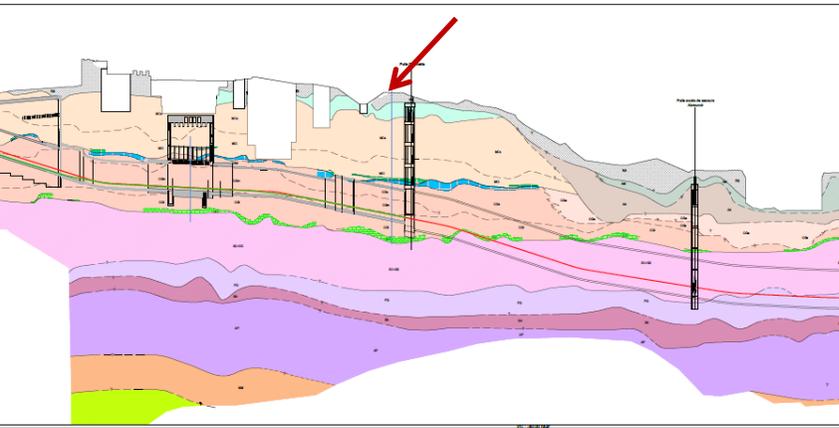
Ouest

La Défense

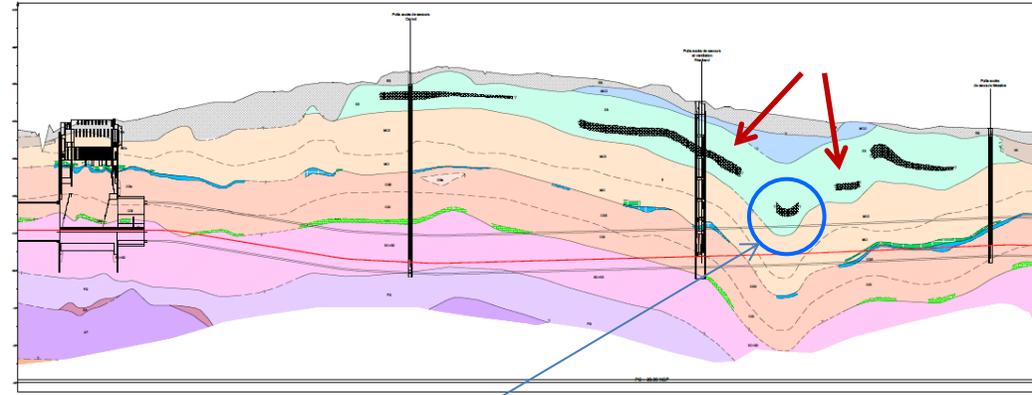


# Géologie du projet

## Sables de Beauchamp



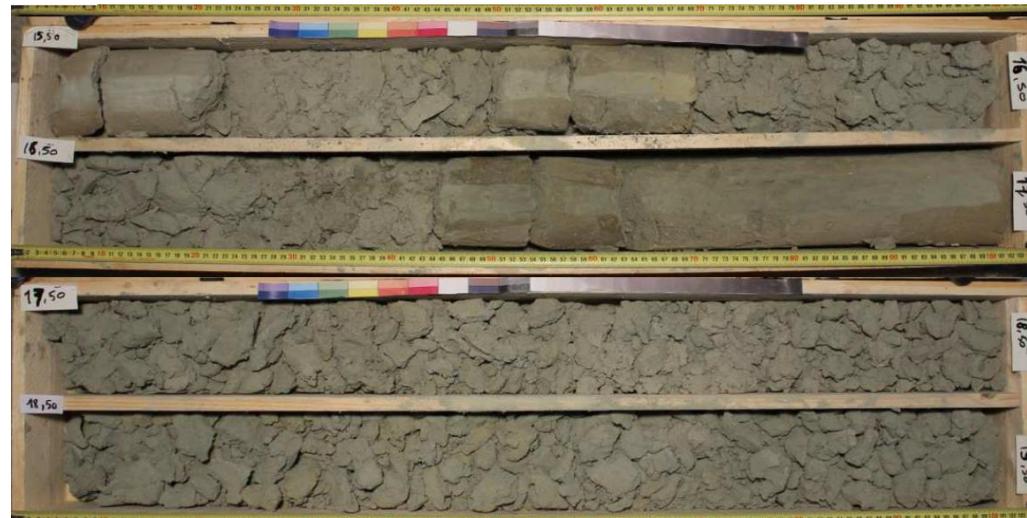
← ... →



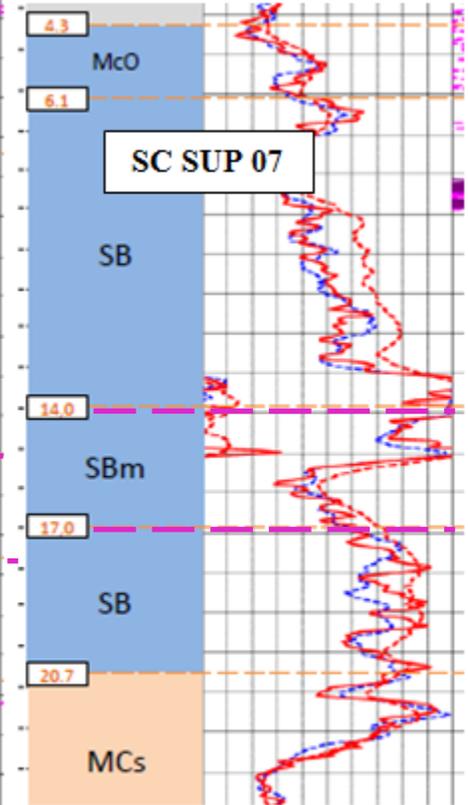
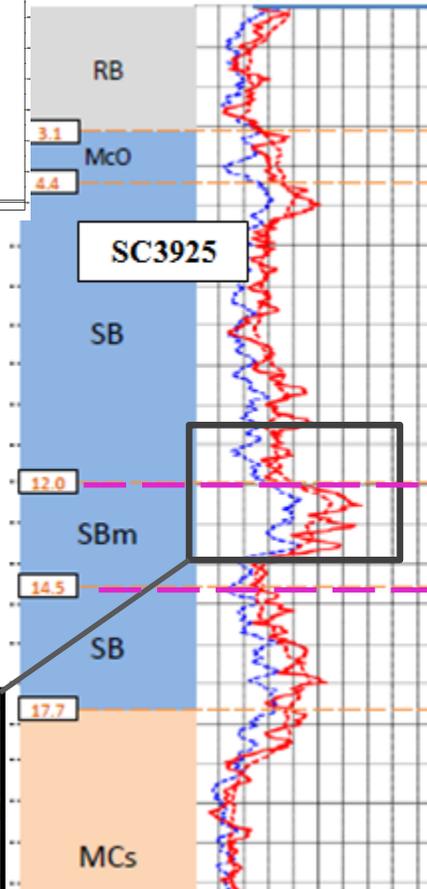
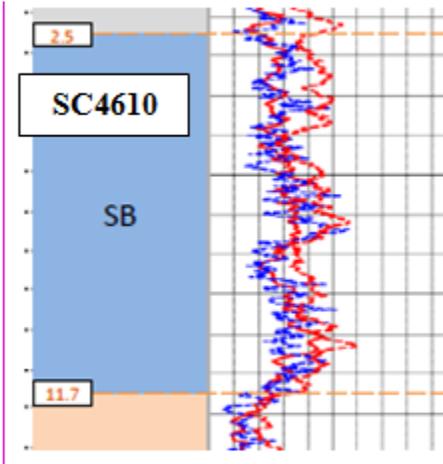
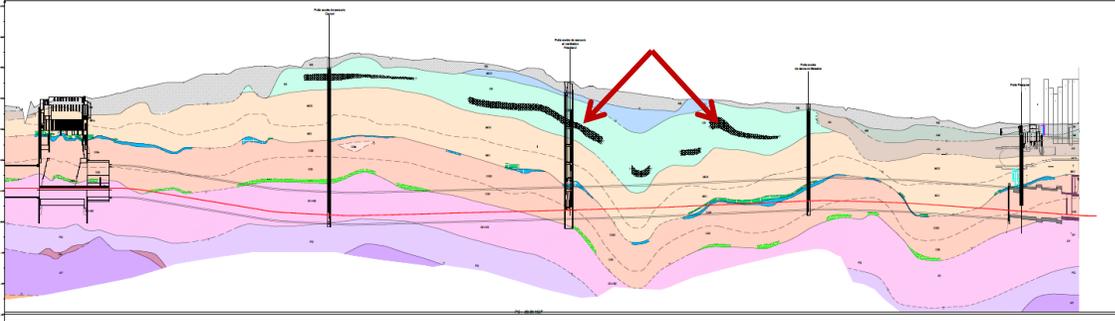
- Présents dans deux secteurs
- Recoupés très localement en voûte

SC3600

SC4080



# Sables de Beauchamp : niveau argileux « médian » (SBm)

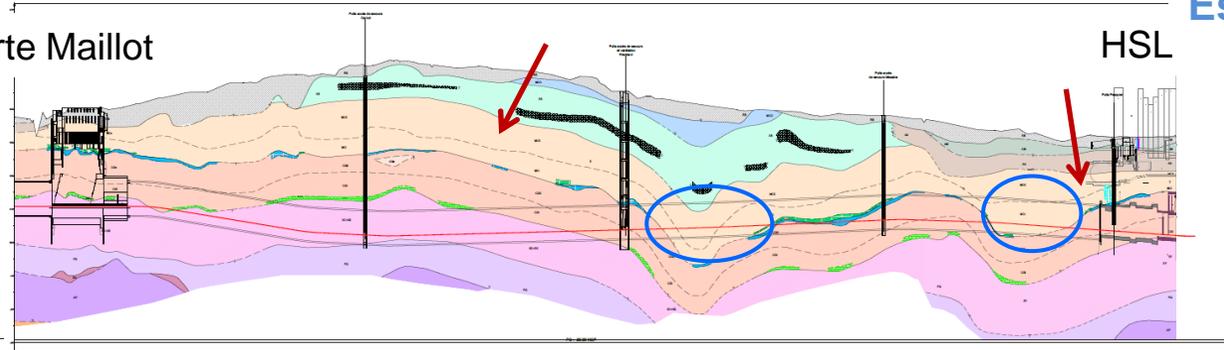


# Géologie du projet

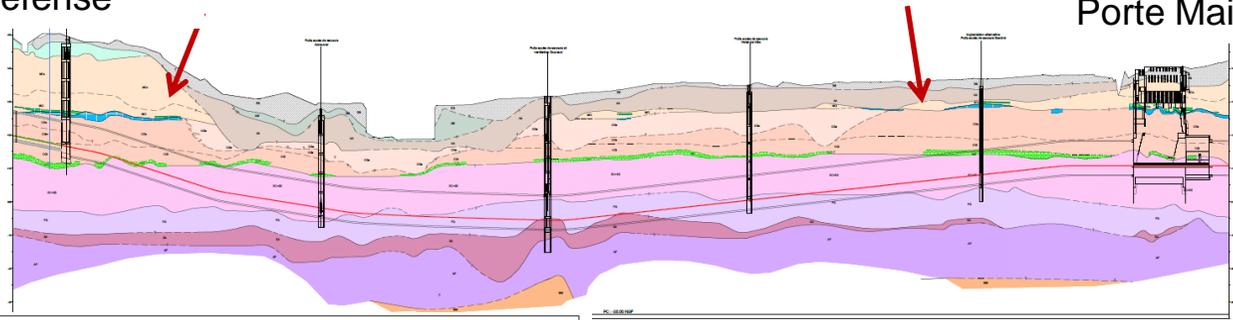
## Marnes et Caillasses

- Présentes sur une grande partie du profil sauf sous la plaine de la Seine
- Traversées à plusieurs reprises par le tunnel.

Porte Maillot



La Défense

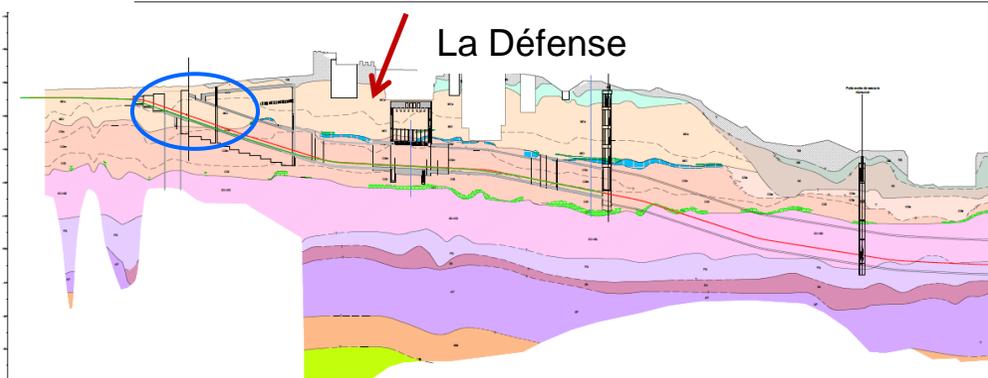


Porte Maillot

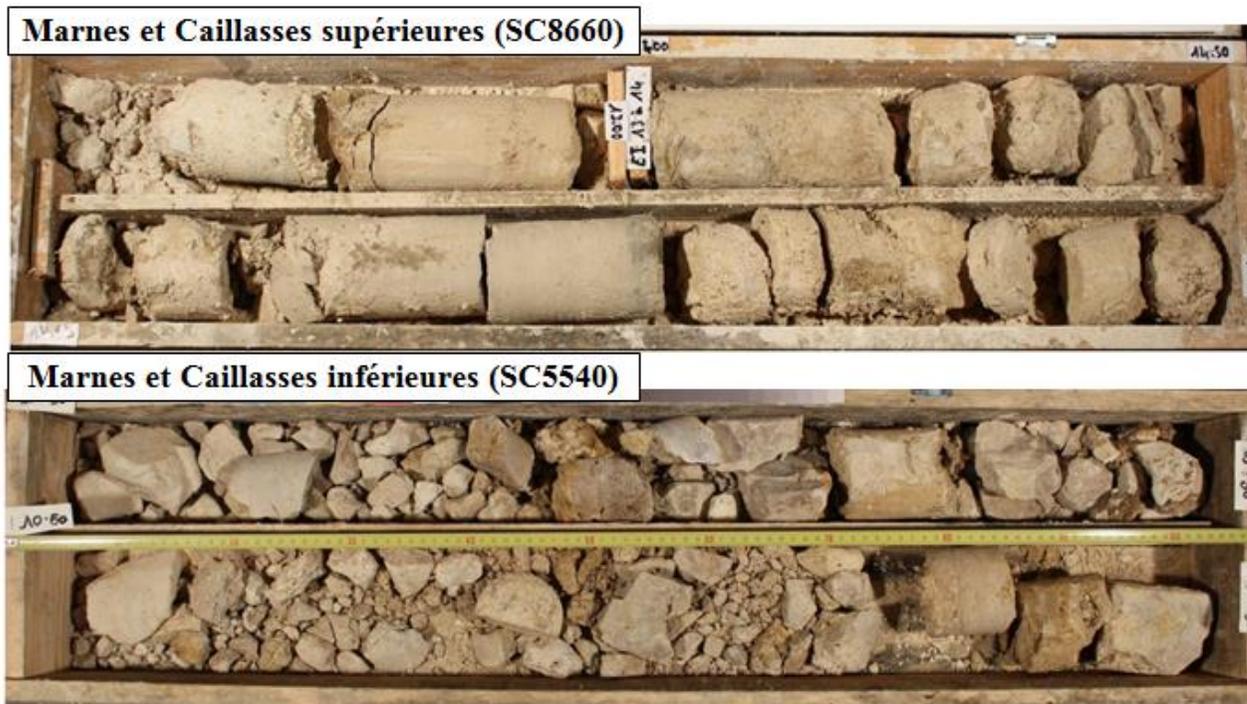
Est

Ouest

La Défense



- Une partie supérieure (MCs) principalement tendre et d'aspect « marneux » ;
  - Une partie inférieure (MCi) plus riche en fragments et bancs rocheux (dont Banc de Rochette près de la base) avec fragmentation / concassage ;
- limite imprécise, non tranchée.
- *Les données pressiométriques permettent de distinguer trois horizons dans certains secteurs (sans corrélation géologique).*

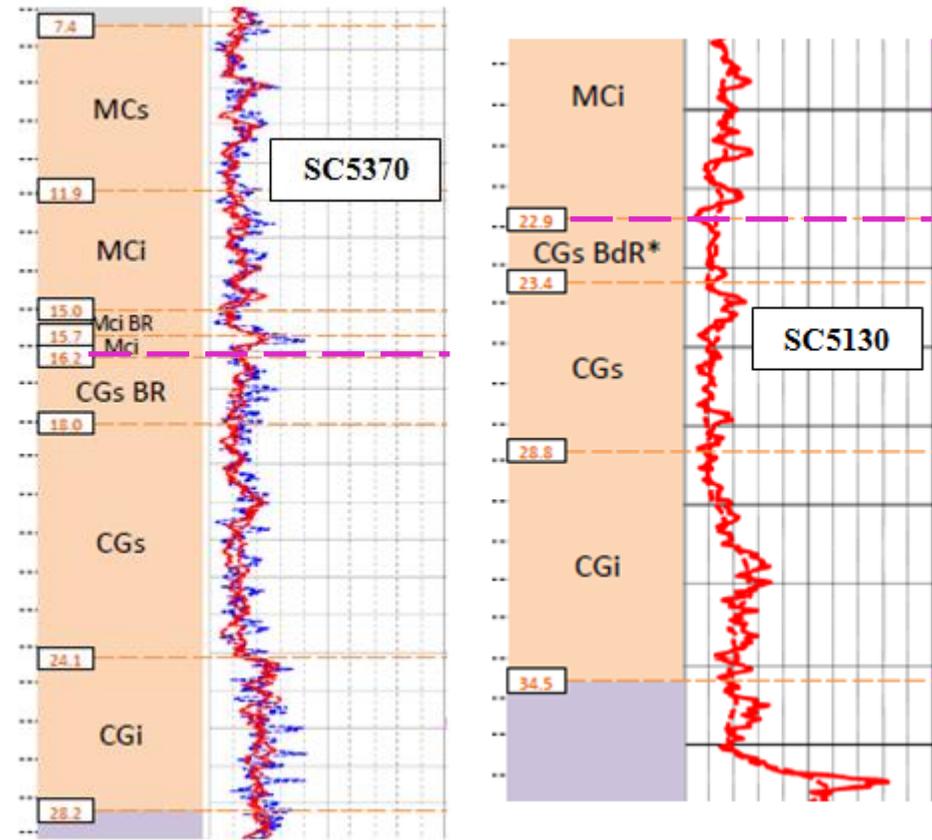


- Les Marnes et Caillasses sont régulièrement très carbonatées et peu argileuses : il ne s'agit généralement pas de « marnes » au sens propre.

→ En accord avec les diagraphies RAN (continuité MC-CG)

MC sup.		MC inf.	
Grandeur	Teneur CaCO3	Grandeur	Teneur CaCO3
Symbole	CaCO3	Symbole	CaCO3
Unité	%	Unité	%
Moyenne	<b>79,8</b>	Moyenne	<b>69,8</b>
Min.	27,0	Min.	36,0
Max.	99,5	Max.	98,0
Ecart-type	18,7	Ecart-type	17,2
Nb d'essais	47	Nb d'essais	18

+ 2 logs d'analyse continue : 70-100 %

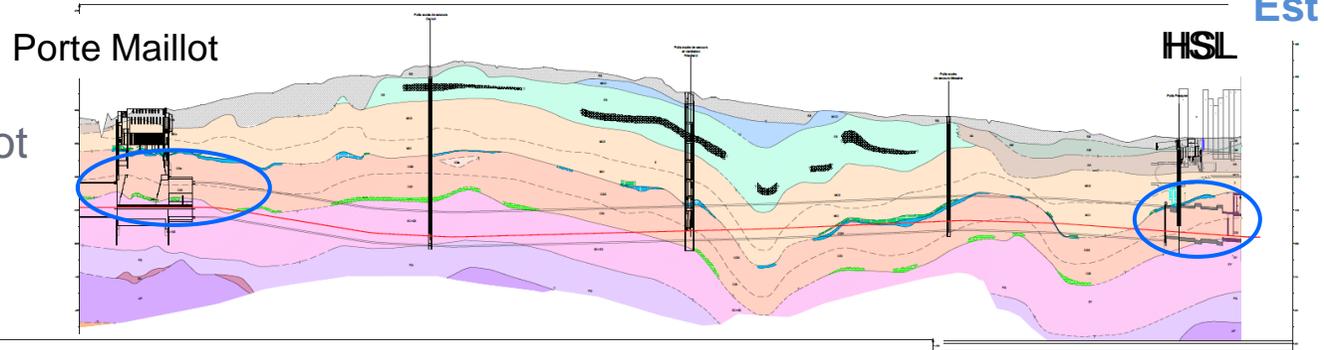


→ La texture intime explique l'aspect marneux du faciès principal (cf. JP Gigan, 1974)

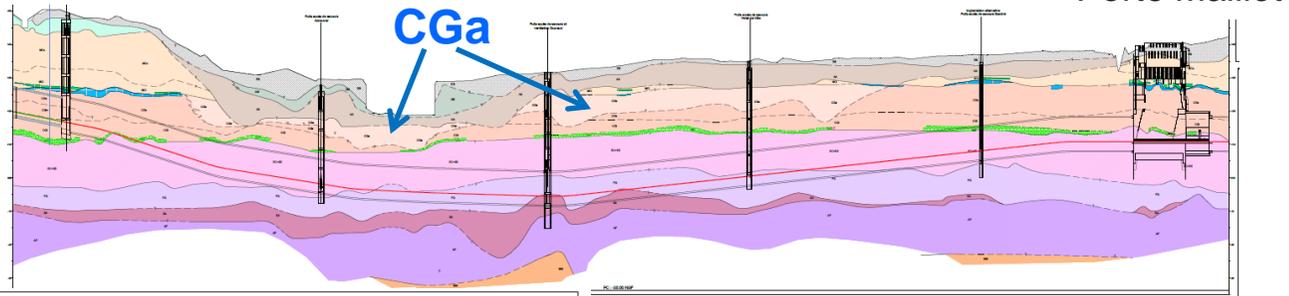
# Géologie du projet

## Calcaire grossier

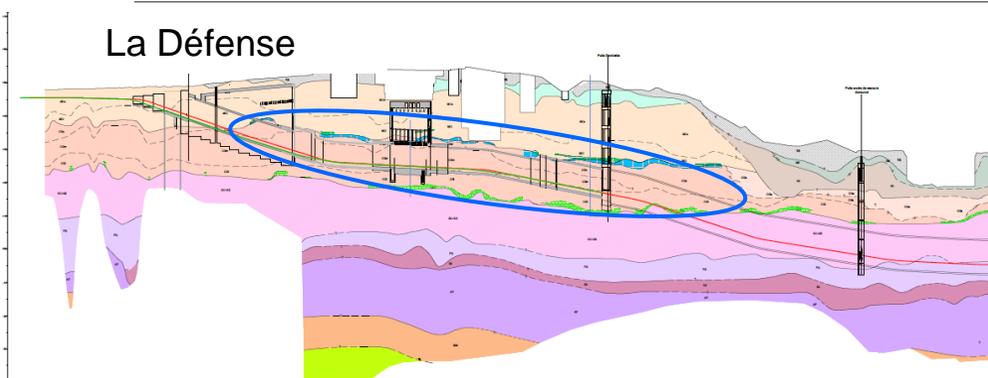
- Présent tout le long du profil
- Traversées par le projet notamment à HSL, Porte Maillot et la Défense
- Faciès altéré (CGa) sous la plaine de la Seine



La Défense



La Défense



- Formation assez massive mais régulièrement débitée selon stratification et parfois fractures subverticales → RQD variable traduisant en moyenne une qualité de roche « moyenne » à « mauvaise »

- Lithostratigraphie détaillée (dans les carrières)

	N°	Nom	Epaisseur		
LUTETIEN SUPERIEUR	CG supérieur	B19	<b>Banc de Roche</b>	0,4 à 1m	
		B18	<b>Cliquart</b>	0,5 à 1m	
		B17	<b>Banc franc</b> , ou Banc d'appareil, Remise ou Liais	0,35m	
		B16	<b>Souchet</b>	0,75m	
		B15	<b>Coquiller grignard</b> ou Rustique ou Roche douce	0,35m	
		B14	<b>Banc de Laine</b> ou galets	0,60m	
		B13	<b>Liais franc</b>	0,3m	
		B12	<b>Banc de marche</b> ou gros banc	0,4m	
		B11	<b>Banc vert</b> ou Banc de verre ou Faux liais	0,2 à 1,3m	
		B10	<b>Banc Royal</b>	1,5m	
LUTETIEN MOYEN	CG moyen	B9	<b>Lambourdes, ardoises et vergelés</b>	Lambourde grise	3 à 4m
		B8		Lambourde	
		B7		Ardoise	
		B6		Lambourde verte	
		B5		<b>Banc coquiller blanc</b>	
LUTETIEN MOYEN	CG inférieur	B4	<b>Banc coquiller rouge</b>	2m	
		B3	<b>Banc chlorité nacré</b> ou banc bleu	2m	
LUT. INF	Calcaire grossier inférieur	B2	<b>Banc chlorité gris</b> ou St Jacques	3m	
		B1	<b>Glaucanie grossière</b> (ou Sable clorité calcaire)	0,5 à 1m	

← Banc de Roche

Calcaire grossier supérieur

Calcaire grossier inférieur glauconieux

← Glaucanie grossière

# Géologie du projet

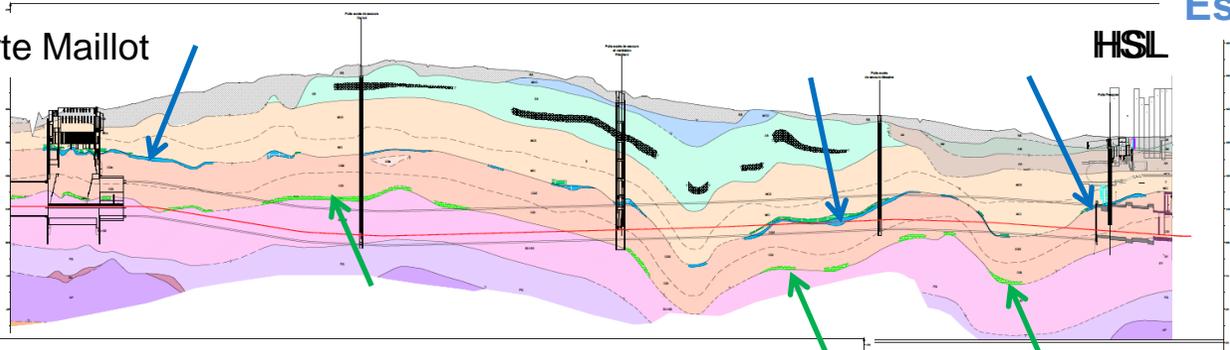
## Calcaire grossier

- Banc de Roche : ↙
- Glauconie grossière : ↗

Porte Maillot

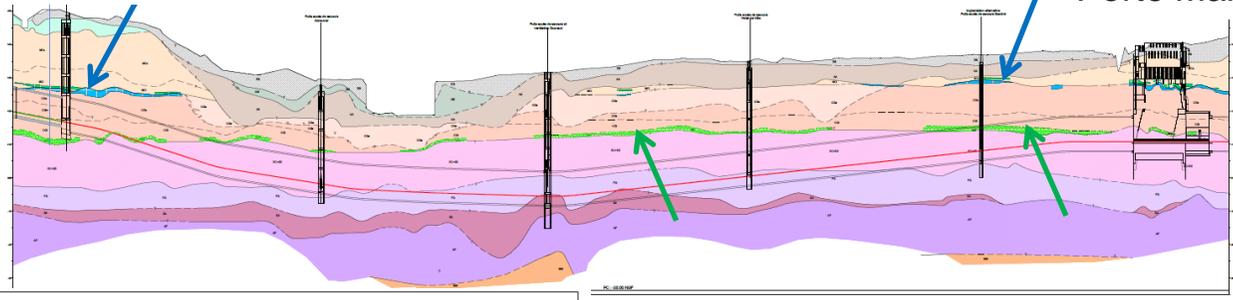
HSL

Est



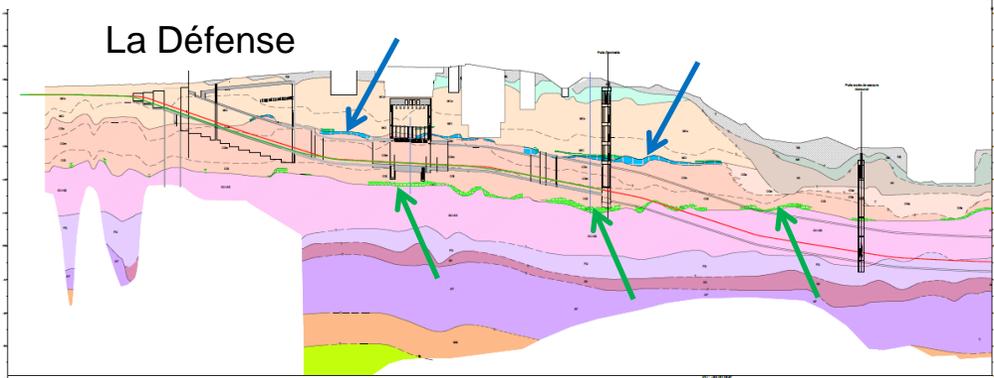
La Défense

Porte Maillot



Ouest

La Défense



# Géologie du projet

## Calcaire grossier

- Calcaire grossier supérieur

→ « Banc de Roche »  
régulièrement traversé en sondage

→ Calcaire plus tendre sous le Banc de Roche

→ Silex fréquents



# Géologie du projet

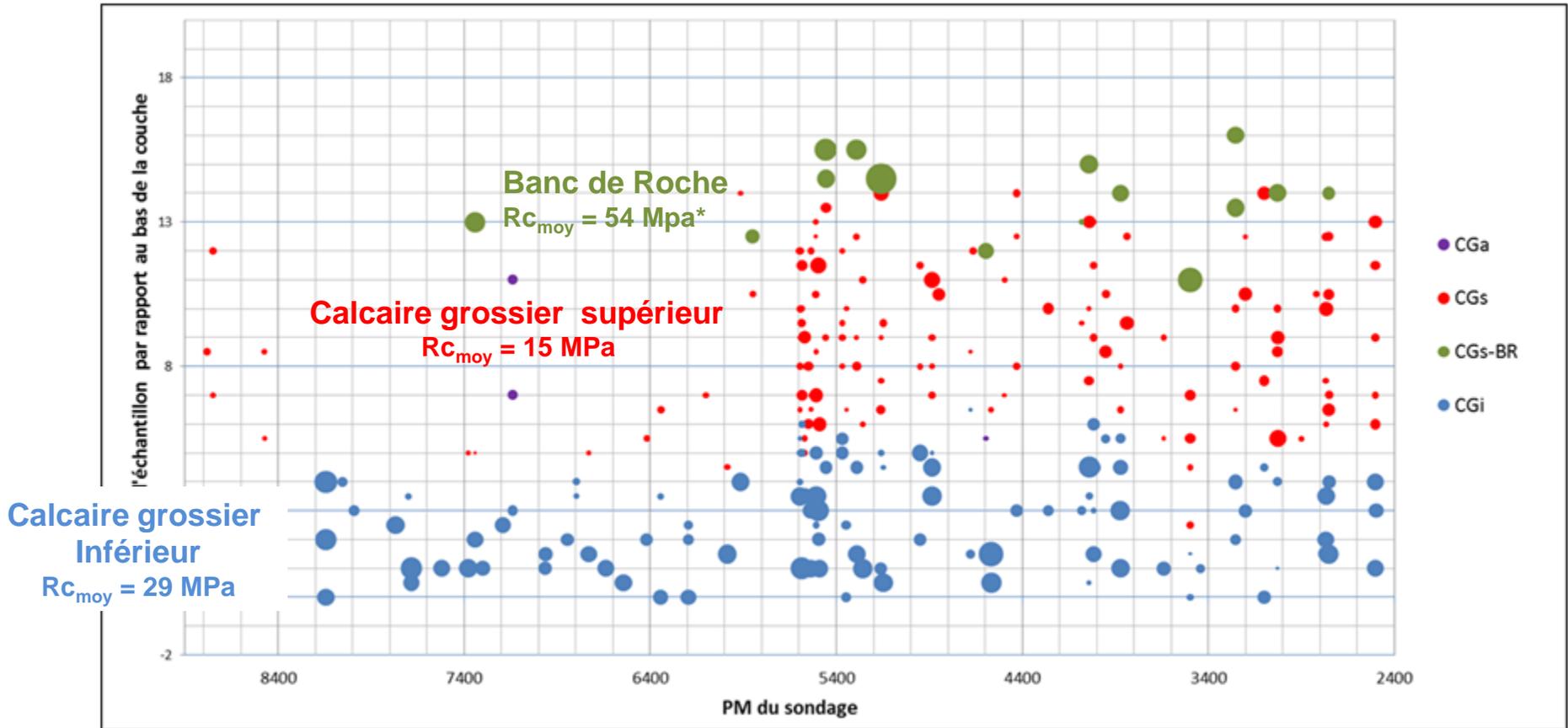
## Calcaire grossier

- Calcaire grossier inférieur
- + sombre et glauconieux
- Niveau ocre fréquemment observé à *peu près* au niveau de la limite CGs-CGi
- « Glauconie grossière » (sable grossier calcaire et glauconieux) observé de place en place (niveau discontinu)



|----- Glauconie grossière -----|

- Stratigraphie interne et résistance à la compression Rc

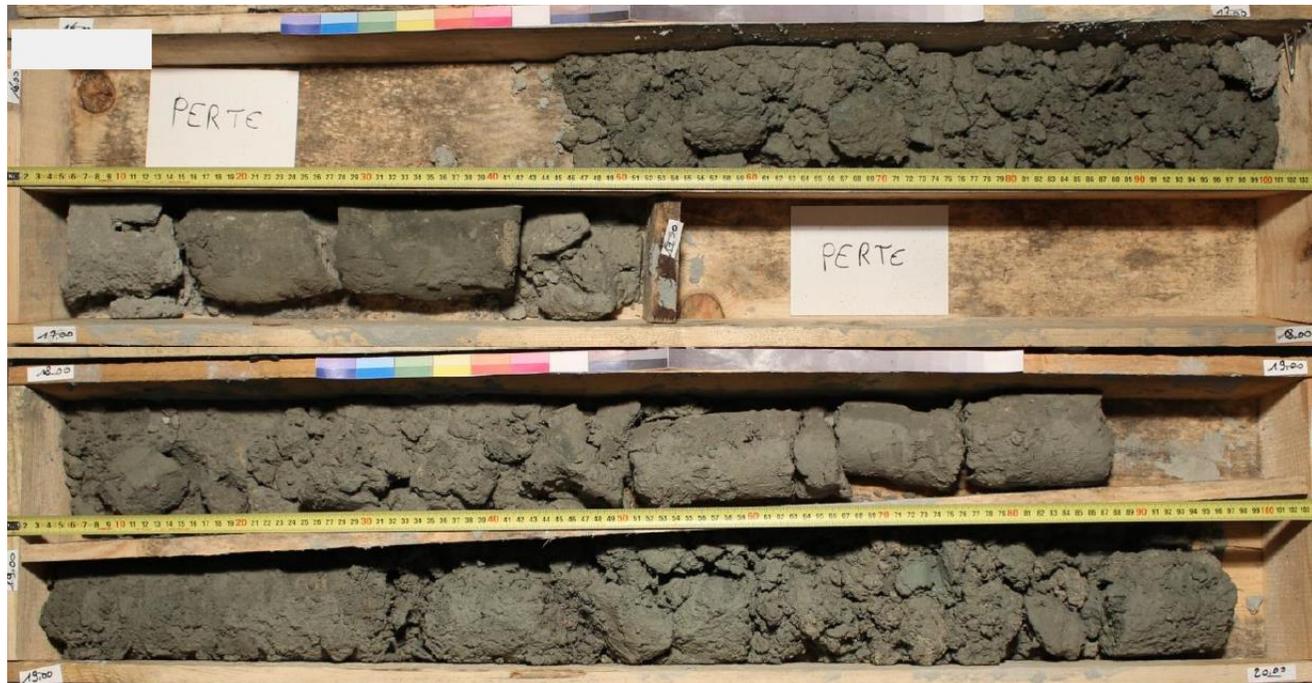
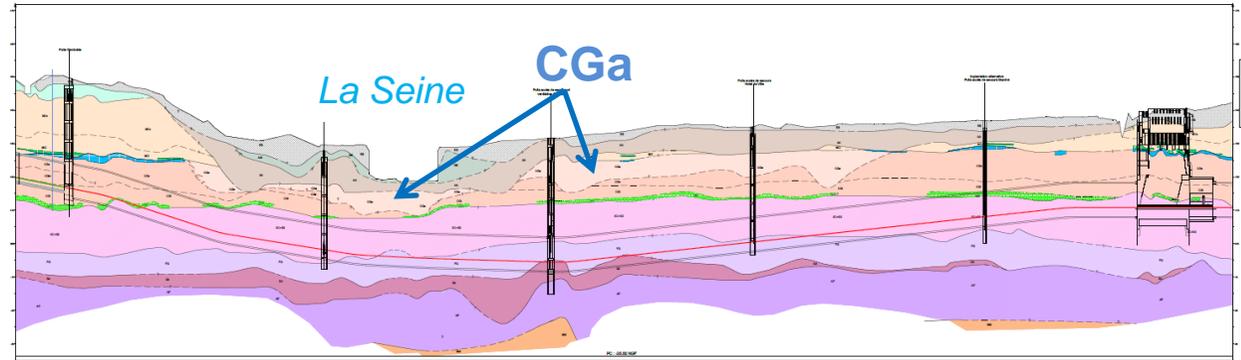


*\*Inclus des valeurs concernant le Banc de Rochette des Marnes et Caillasses*

# Géologie du projet

## Calcaire grossier

- Calcaire grossier altéré (plaine de la Seine)  
→ traité comme une entité géotechnique distincte, mauvaise qualité globale.



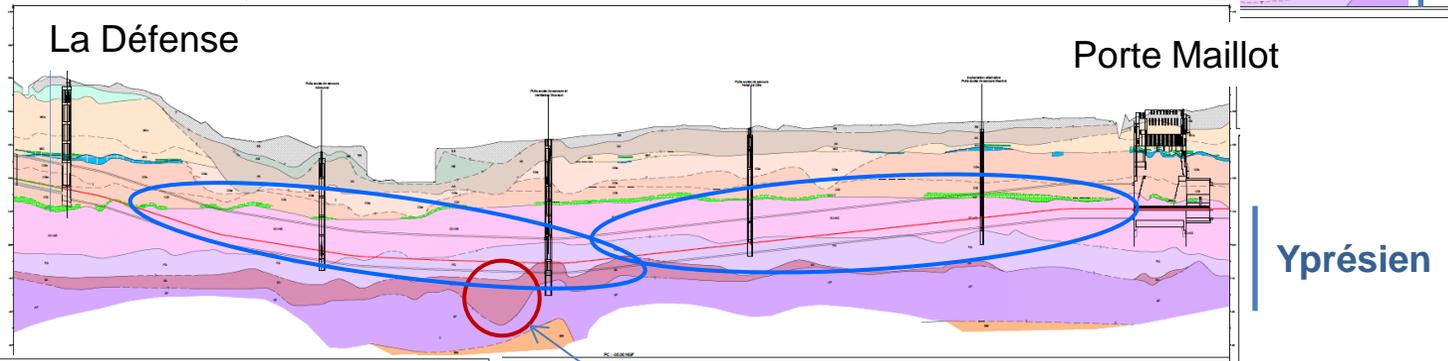
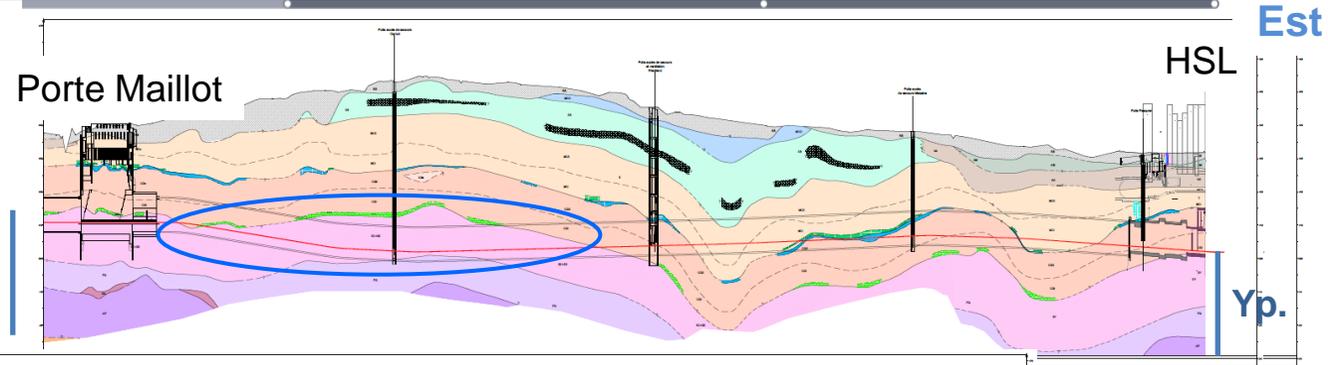
# Géologie du projet

## Formations de l'Yprésien

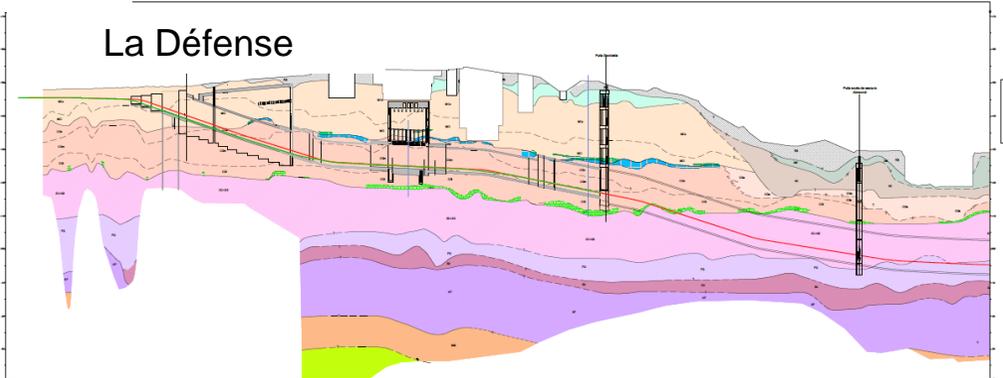
- Présentes tout le long du profil et largement recoupées par le tunnel :

→ Sables supérieurs (*et/ou Sables de Cuise*) : formation la plus concernée par le projet (tunnel)

→ Fausses glaises



Ouest



→ Sables d'Auteuil (discontinus et localement épais)

→ Argile plastique (sous le projet)

# Géologie du projet

## Les formations de l'Yprésien

- Les sables supérieurs : sables homogènes (ligniteux) ; → passées franchement argileuses localisées (HSL)
- Les Fausses glaises à dominante argileuse et passées sableuses parfois bien développées, ligniteuses ;
- Sables d'Auteuil discontinus et/ou parfois difficiles à identifier ;

→ Les trois formations présentent de fortes similitudes (d'aspect et géotechniques, cf. ci-dessous) → un même ensemble sablo-argileux.

SC+SS faciès non argileux	
c'(kPa)	0
$\phi'$ (°)	37

Sables sup.

FG faciès non argileux	
c'(kPa)	0
$\phi'$ (°)	36

Fausses glaises

c'(kPa)	0
$\phi'$ (°)	31

Sables d'Auteuil



- L'Argile plastique : argiles bariolées typiques dans large partie inférieure

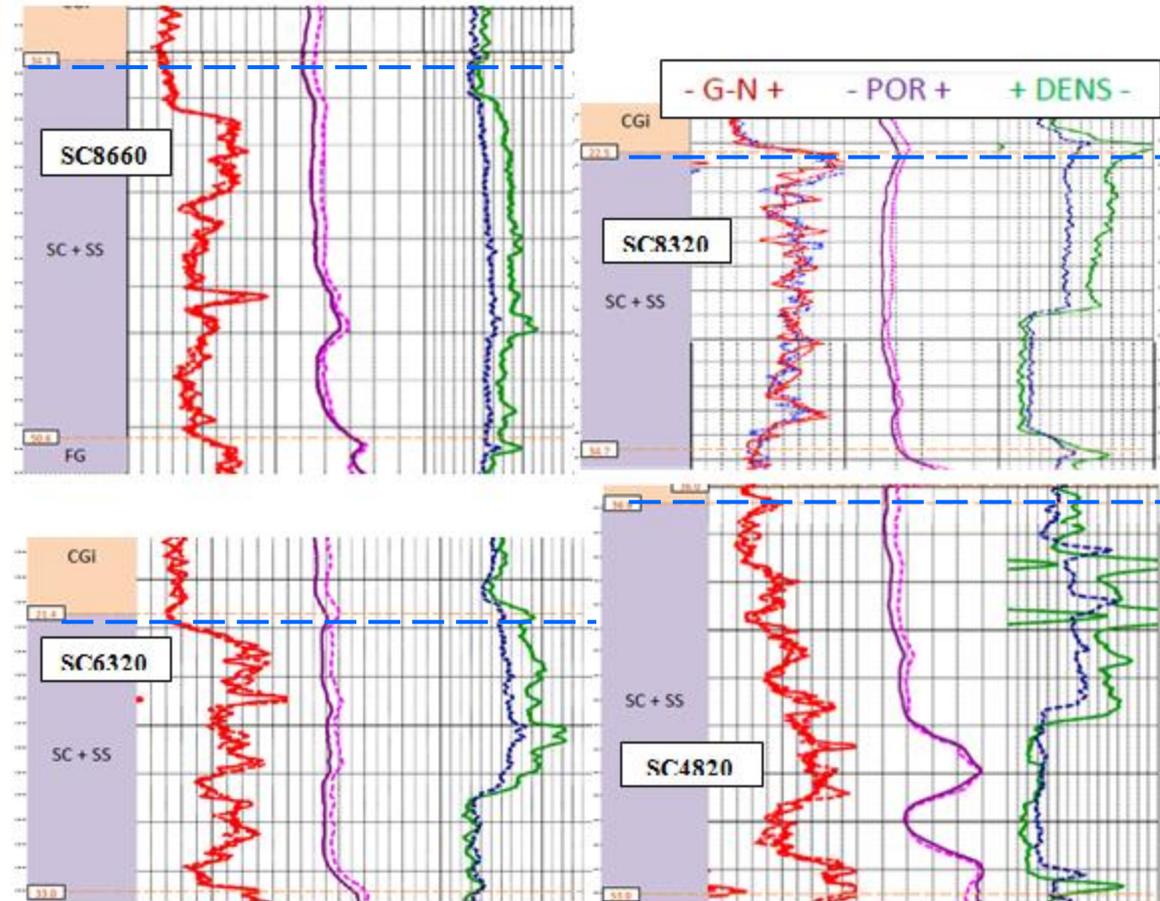


- Diagraphies dans les Sables supérieurs

→ RAN/argilosité assez élevée (/Calcaire grossier), réponses variables dans le détail, pics non identifiés sur carottes ;

→ Induction/porosité : RAS sauf localement (sans corrélation avec les carottes) ;

→ gamma-gamma/densité : hétérogénéité du signal entre sondages, pas d'interprétation claire.

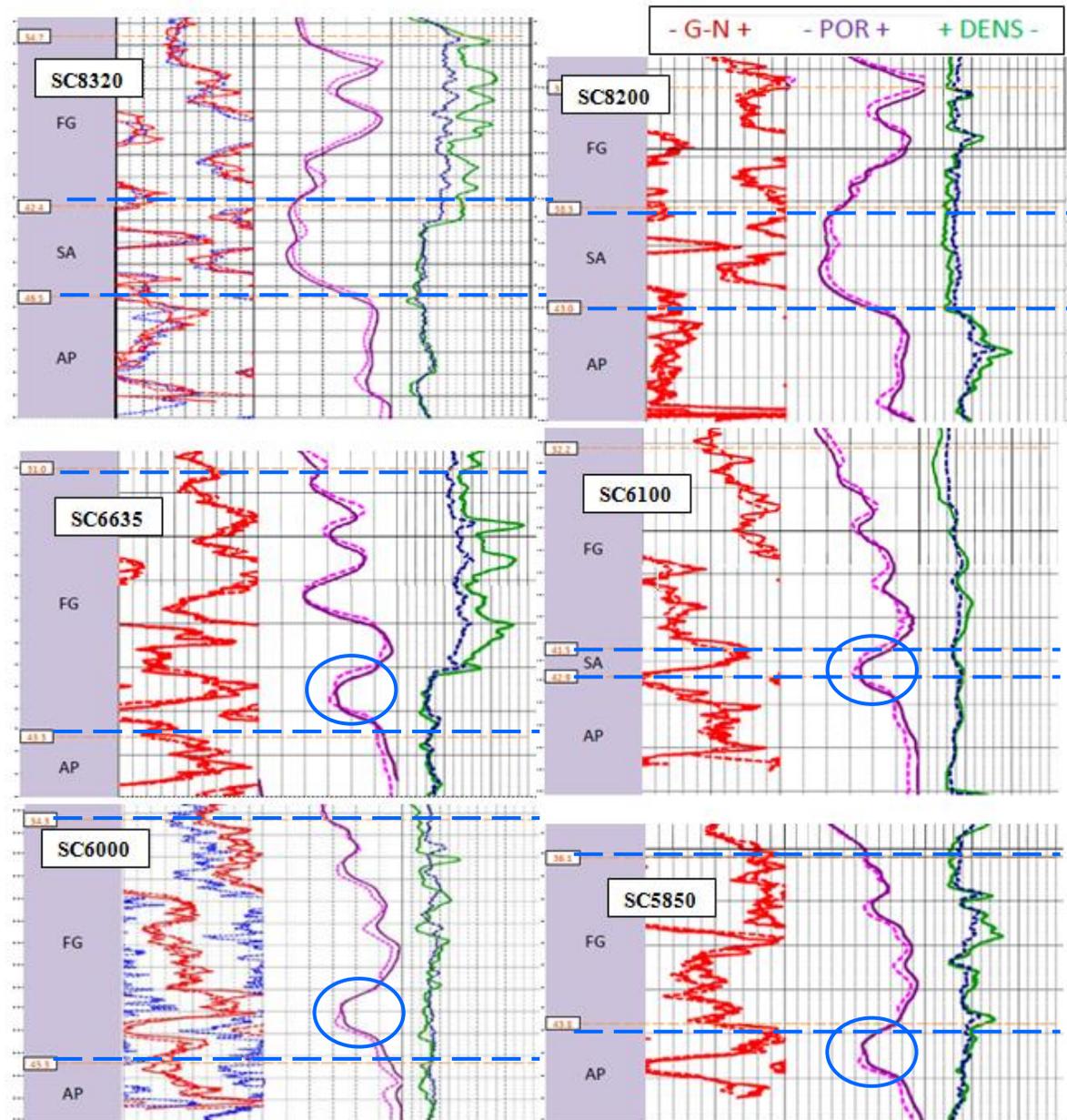


# Géologie du projet

## Formations de l'Yprésien

- Diagraphies dans les Fausses glaises, les Sables d'Auteuil et l'Argile plastique :

→ signatures assez constantes dans les grandes lignes ; correspondances pour partie imprécises avec les contacts lithologiques (cf. ovales bleues).



# Travaux de reconnaissances pour une nouvelle gare à la Défense

1\ OUVRAGES DE LA NOUVELLE GARE DE LA DÉFENSE

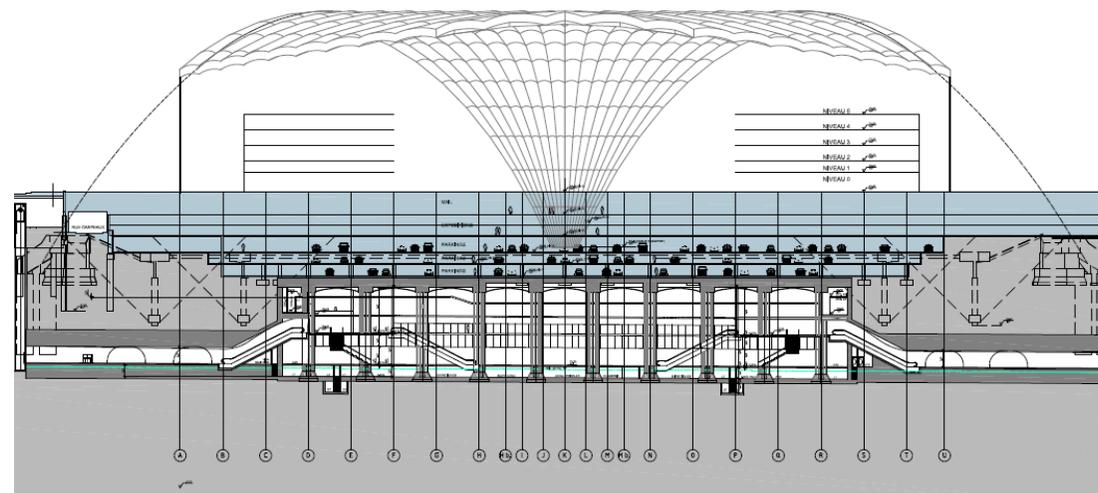
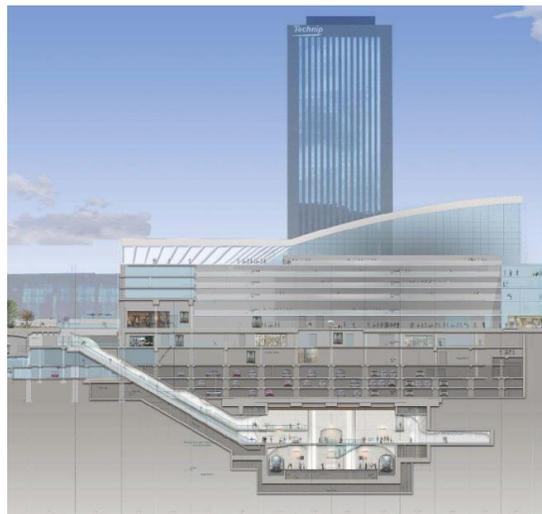
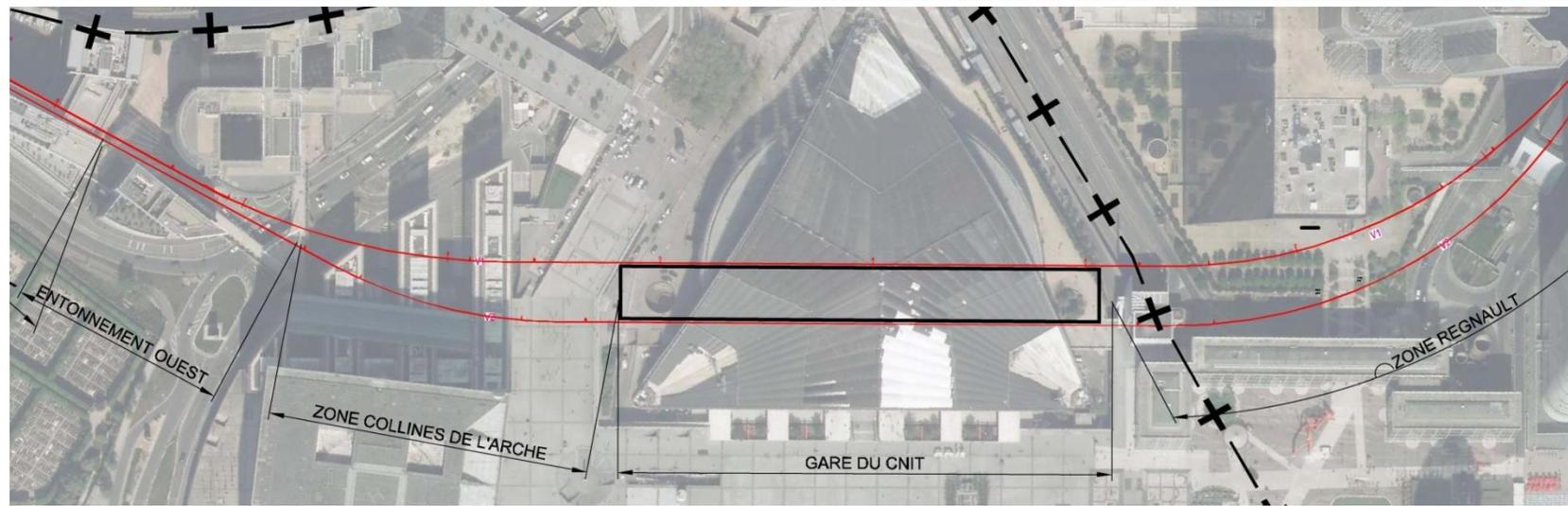
2\ CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET BESOINS EN RECONNAISSANCES

3\ DÉROULEMENT DES TRAVAUX DE RECONNAISSANCES

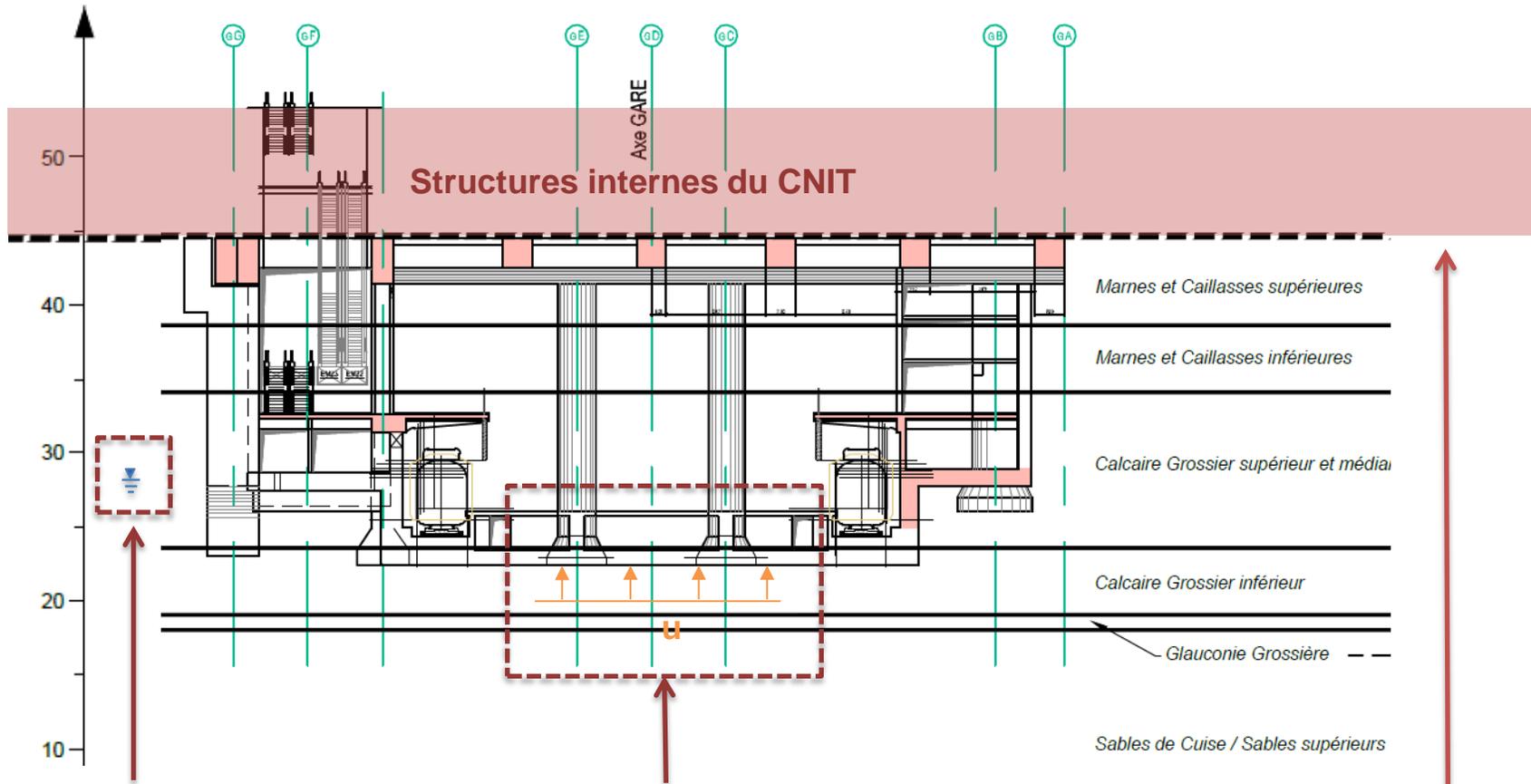
4\ PRINCIPAUX RÉSULTATS

# Travaux de reconnaissances pour une nouvelle gare à La Défense

## 1 \ LA NOUVELLE GARE A LA DEFENSE



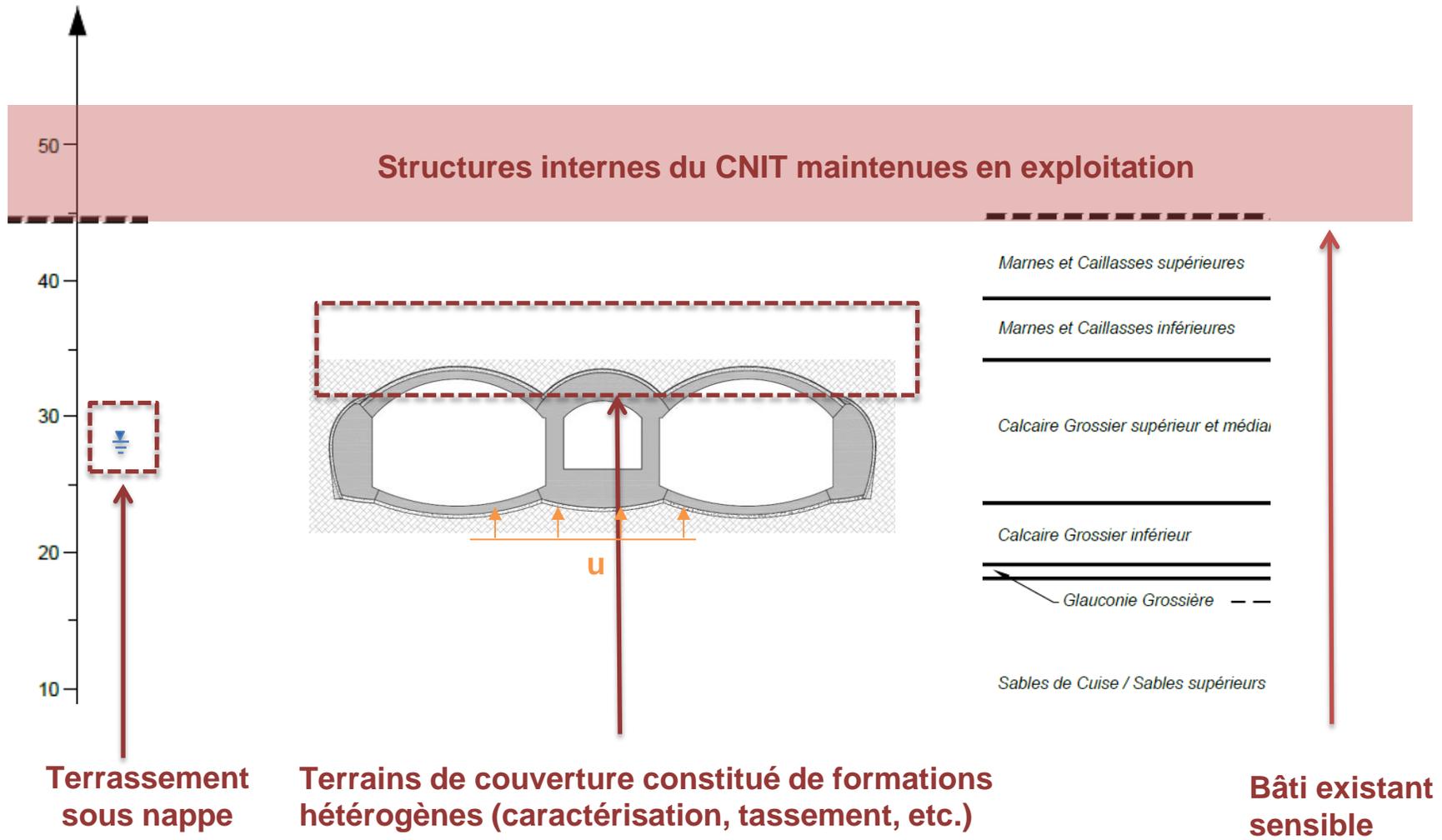
## 2 \ PROBLEMATIQUES GEOTECHNIQUES – Section courantes (RSO)



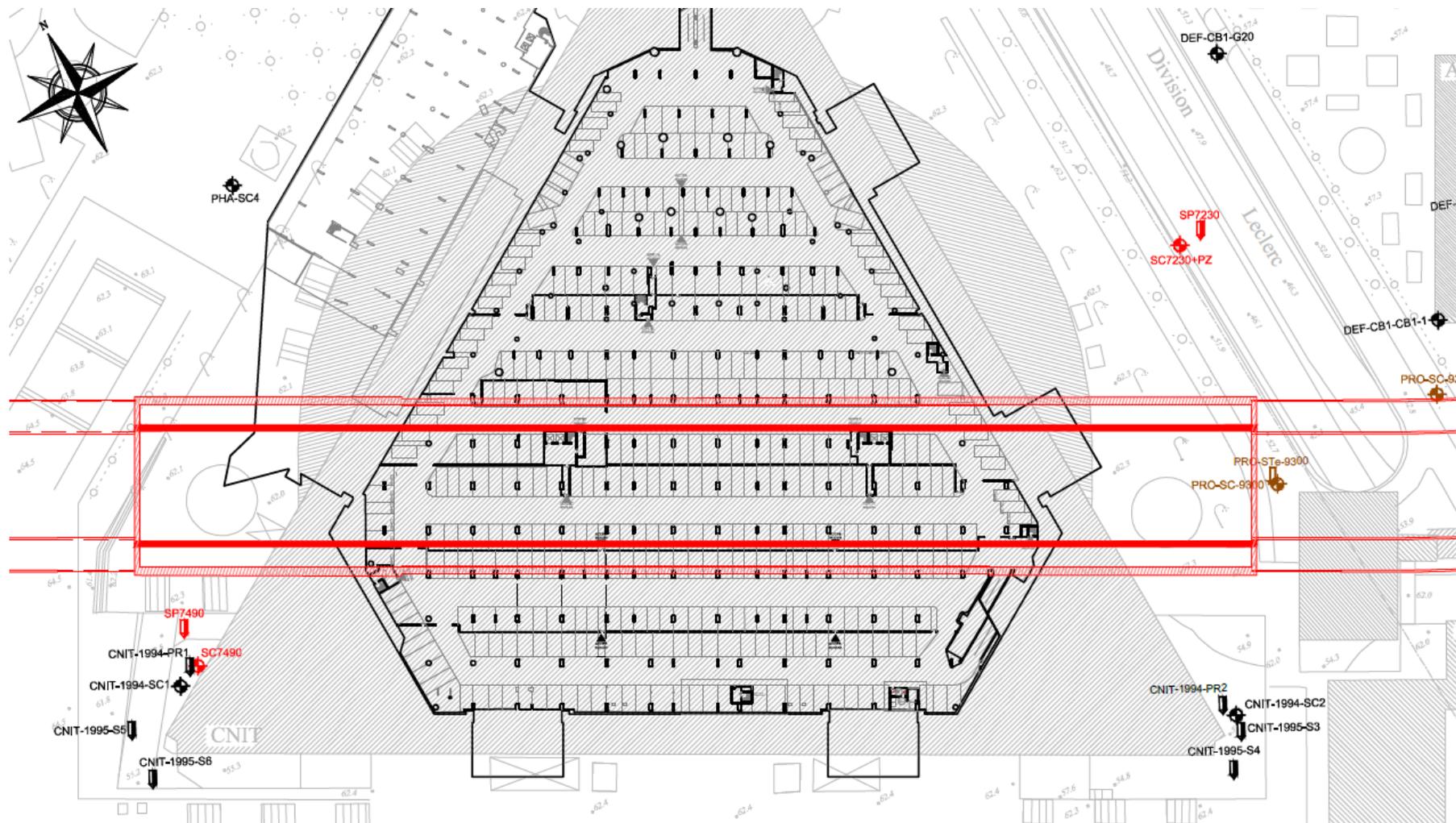
**Terrassement sous nappe**

**Assise sur reliquat de dalle calcaire (formations plus déformables en profondeur, sous-pression)**

**Bâti existant sensible**



## 2 \ BESOIN EN RECONNAISSANCES



Noir : sondages d'archives – Rouge : sondages AVP



## 2 \ OBJECTIFS DU PROGRAMME A METTRE EN OEUVRE

---

- GEOTECHNIQUES :
  - Observation en grand des terrains / définition de la stratigraphie ;
  - Caractérisation mécanique des formations rocheuses (déformabilité, résistance au cisaillement) ;
  - Etalonnage des moyens de reconnaissances conventionnels
- HYDROGEOLOGIQUES :
  - Estimer les perméabilités en grand des terrains (Calcaires grossiers et sables de l'Yprésien) ;
  - Tester en vraie grandeur des dispositifs de rabattement de nappe ;
- ORGANISATIONNELS / CHANTIER :
  - Evaluer la possibilité d'intervention en milieu contraint (sous-sol du CNIT, secteur Défense);
  - Tester les méthodes d'exécution envisagées pour le chantier de la gare ;
  - Caractérisation et quantification des nuisances induites par le chantier (notamment vibratoires).

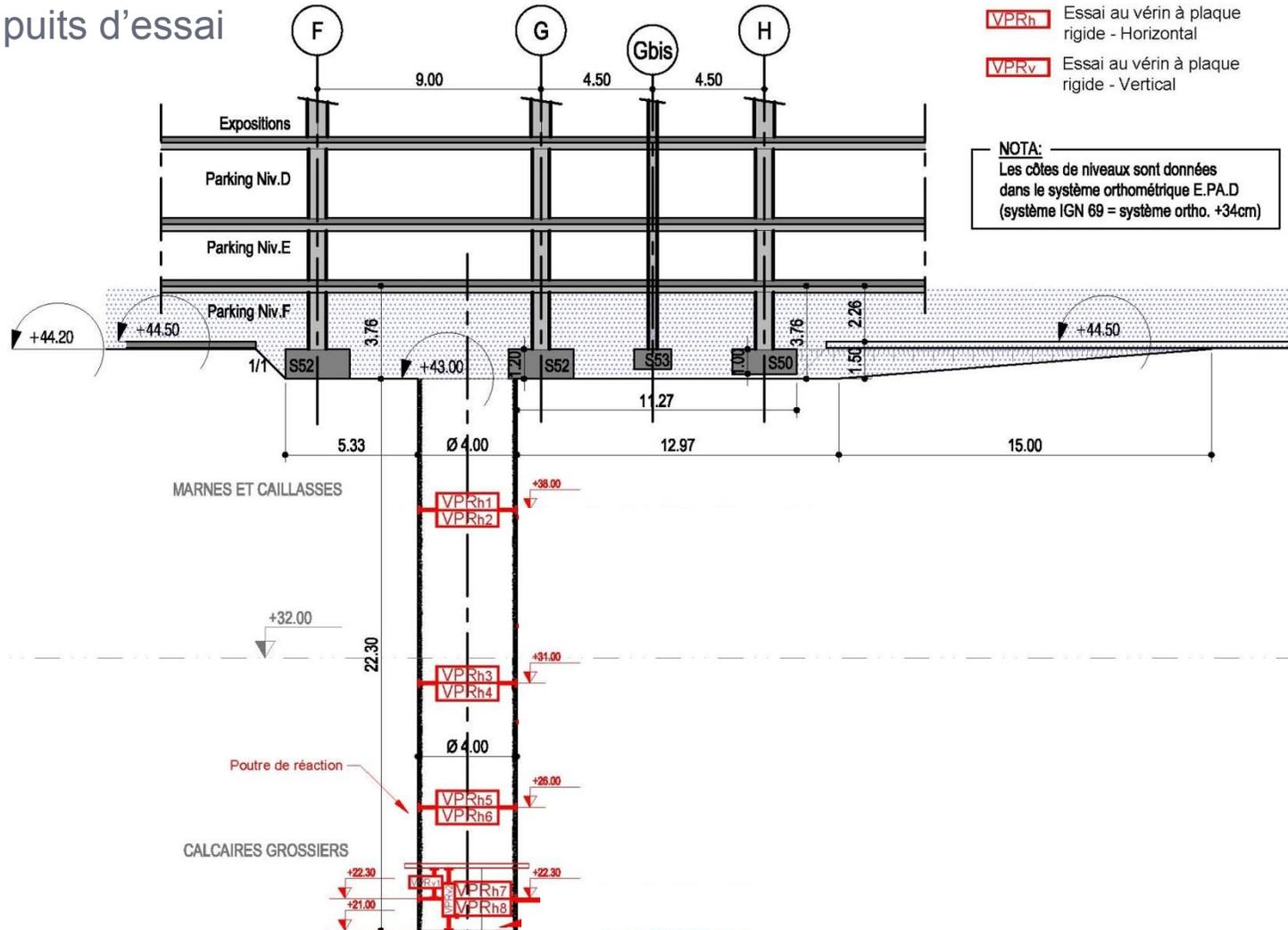
## 2 \ PROGRAMME D'INVESTIGATION – CONSISTANCE

Vue en plan récolée



## 2 \ PROGRAMME D'INVESTIGATION – CONSISTANCE

### Coupe sur puits d'essai



## 3 \ EXECUTION DES RECONNAISSANCES

### Contraintes d'intervention :

- Parking maintenu en service  
*(confinement du chantier)*
- Bâtiment maintenu en service  
*(plages horaires adaptées, suivi vibratoire)*
- Calendrier général des travaux  
*(dépendant des nuisances induites)*
- gabarits en hauteur limités  
*(préterrassements)*
- Intervention au niveau d'assise des fondations existantes  
*(soutènement lourd pour les premières passes de terrassement et suivi des déformations)*
- Forte coactivité entre opérations de reconnaissances et chantier GC



## 3 \ EXECUTION DES RECONNAISSANCES



## 3 \ EXECUTION DES RECONNAISSANCES

Puits d'essai – Levé passe 9 – entre 8 et 10 m de profondeur



Photo Est vers Sud

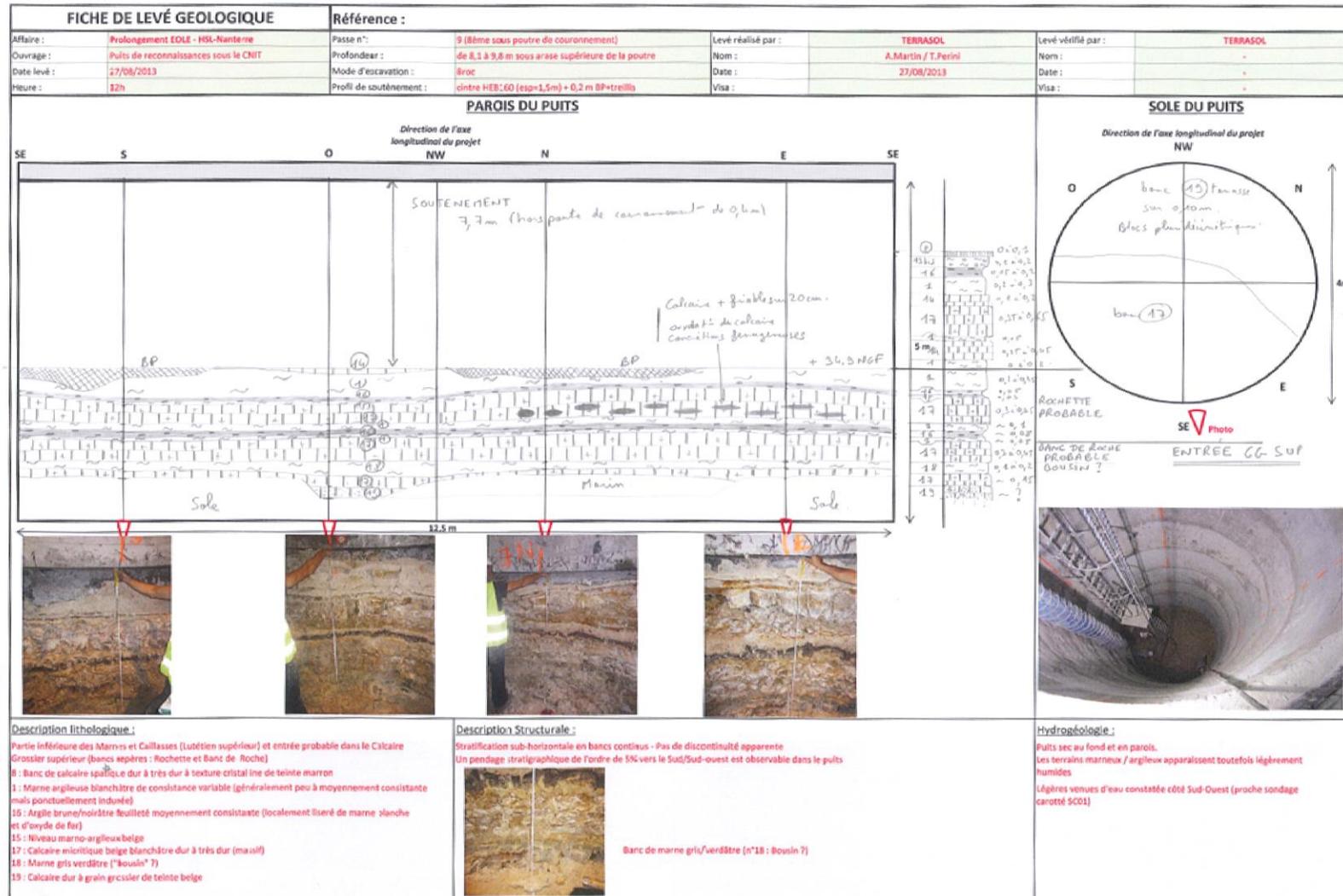
Photo Sud vers Ouest

# Travaux de reconnaissances pour une nouvelle gare à La Défense

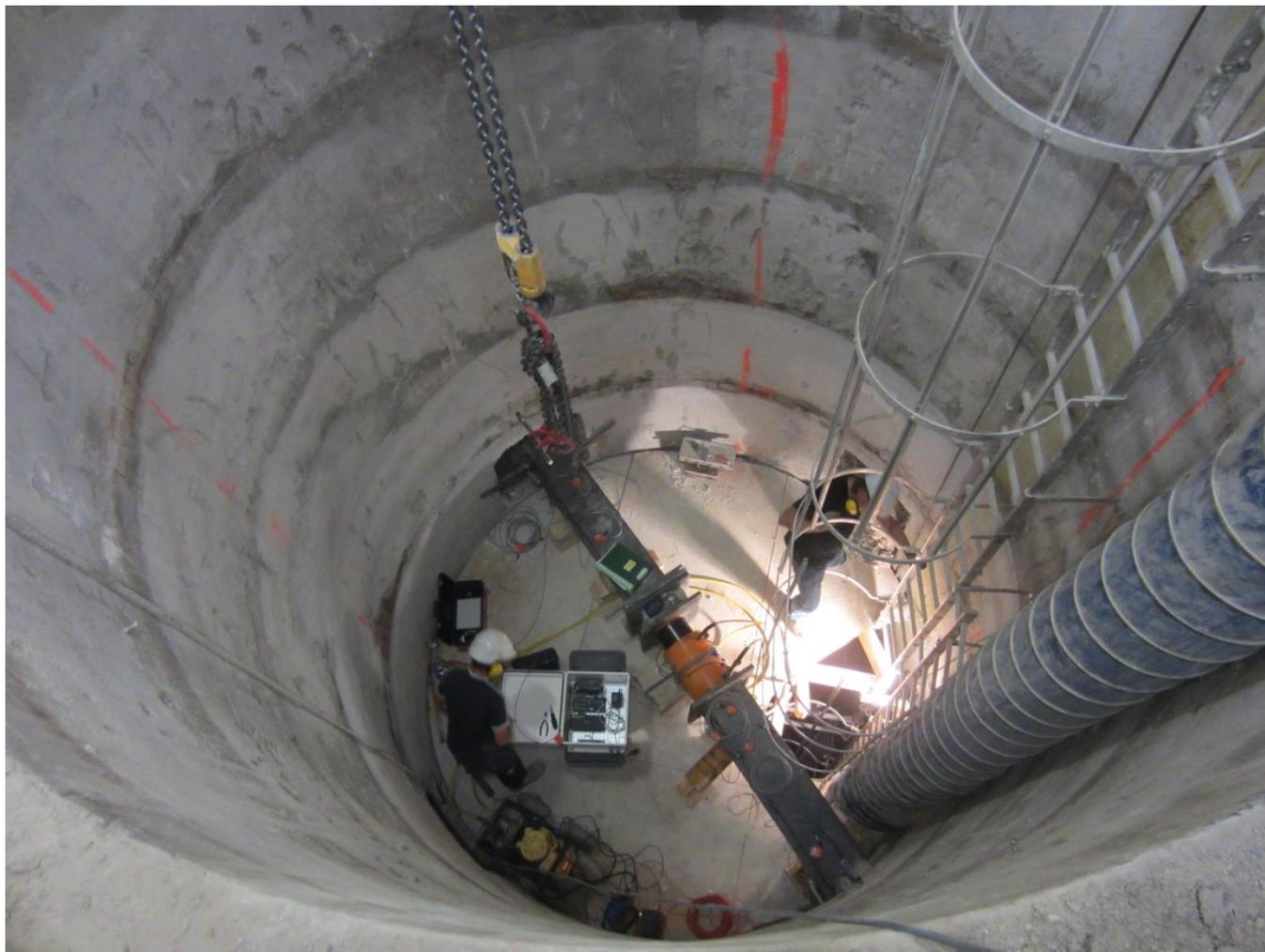


LE NOUVEAU GRAND PARIS

## 3 \ EXECUTION DES RECONNAISSANCES



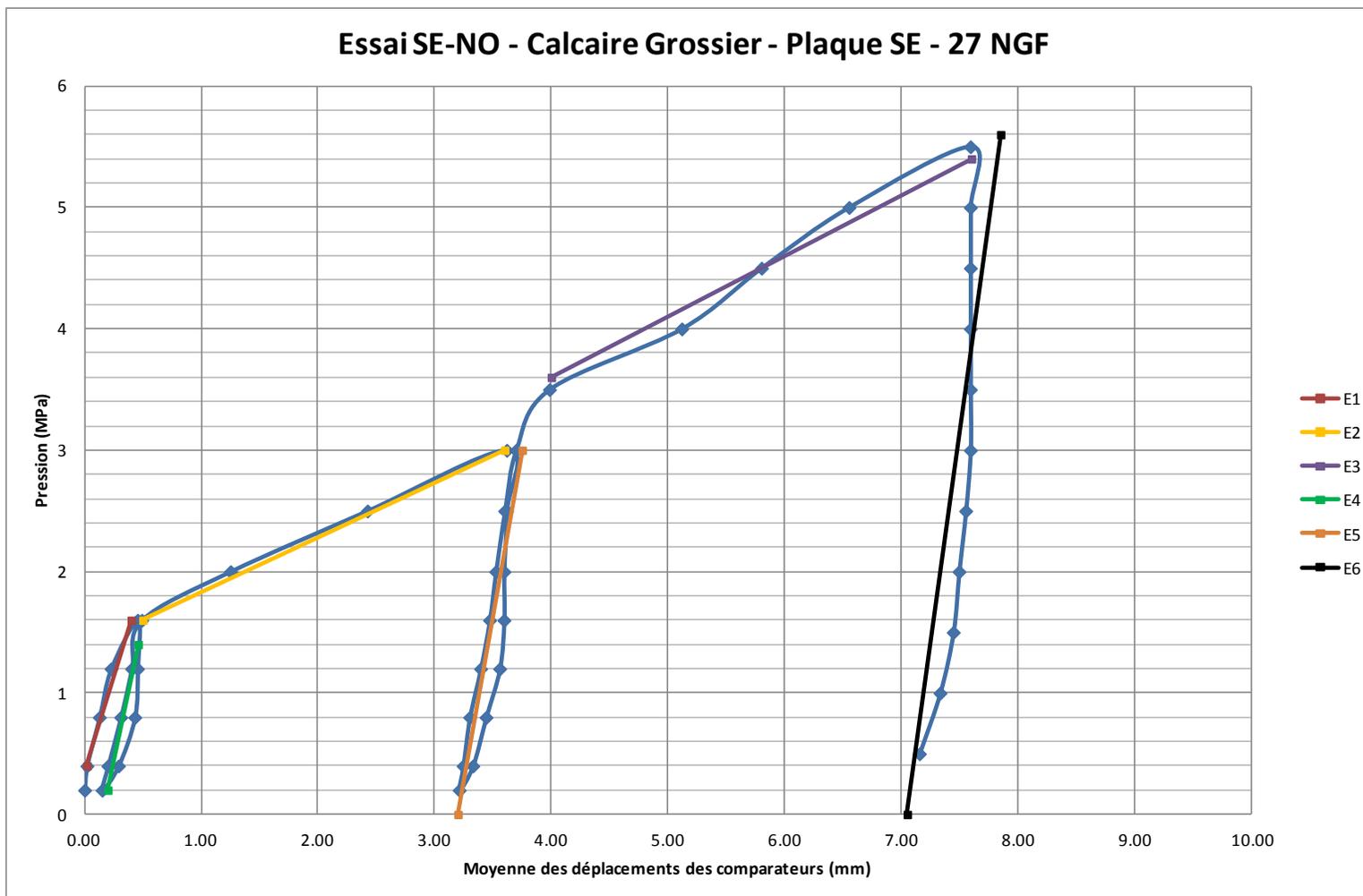
## 3 \ EXECUTION DES RECONNAISSANCES



## 3 \ EXECUTION DES RECONNAISSANCES

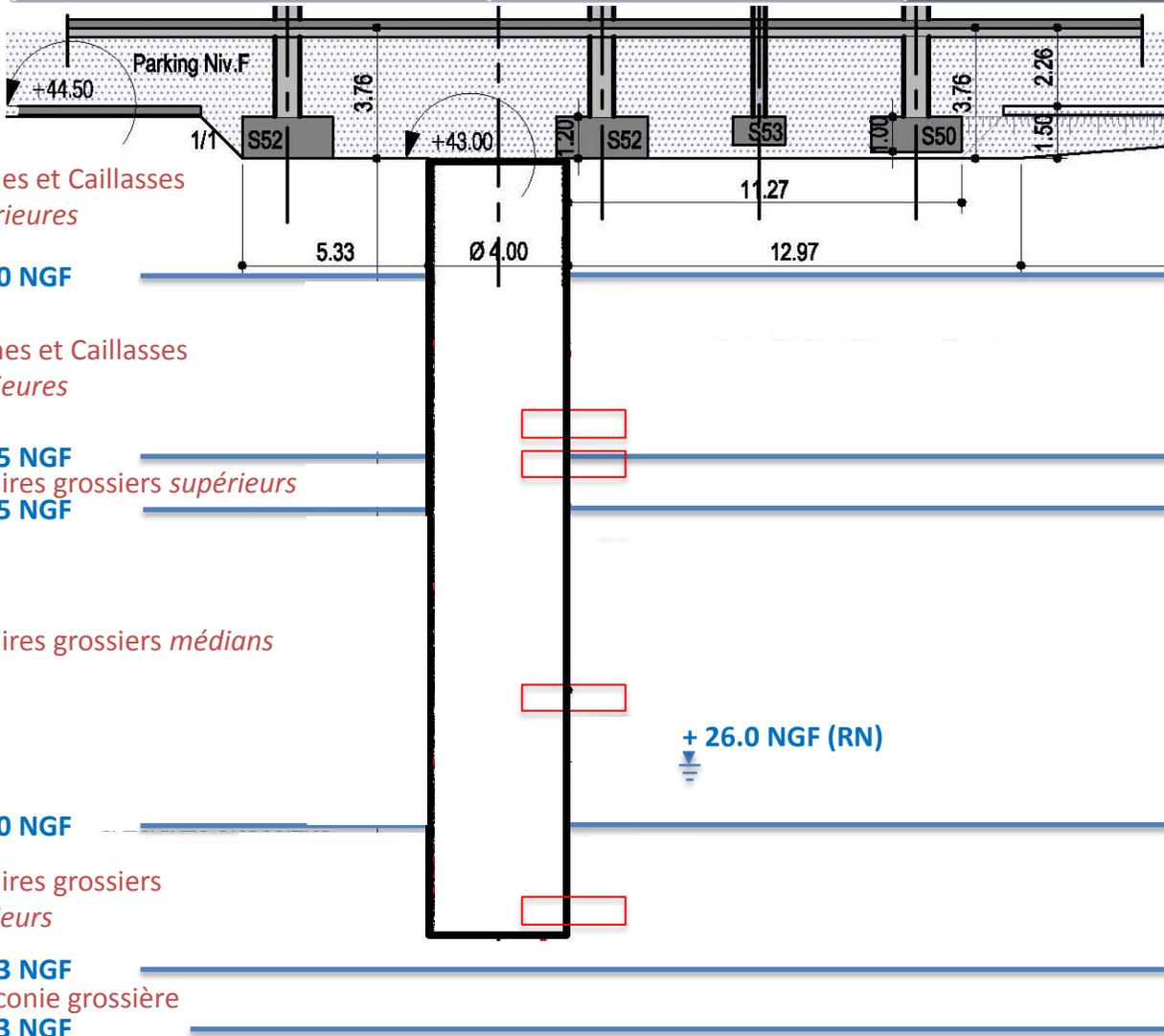


## 3 \ EXECUTION DES RECONNAISSANCES



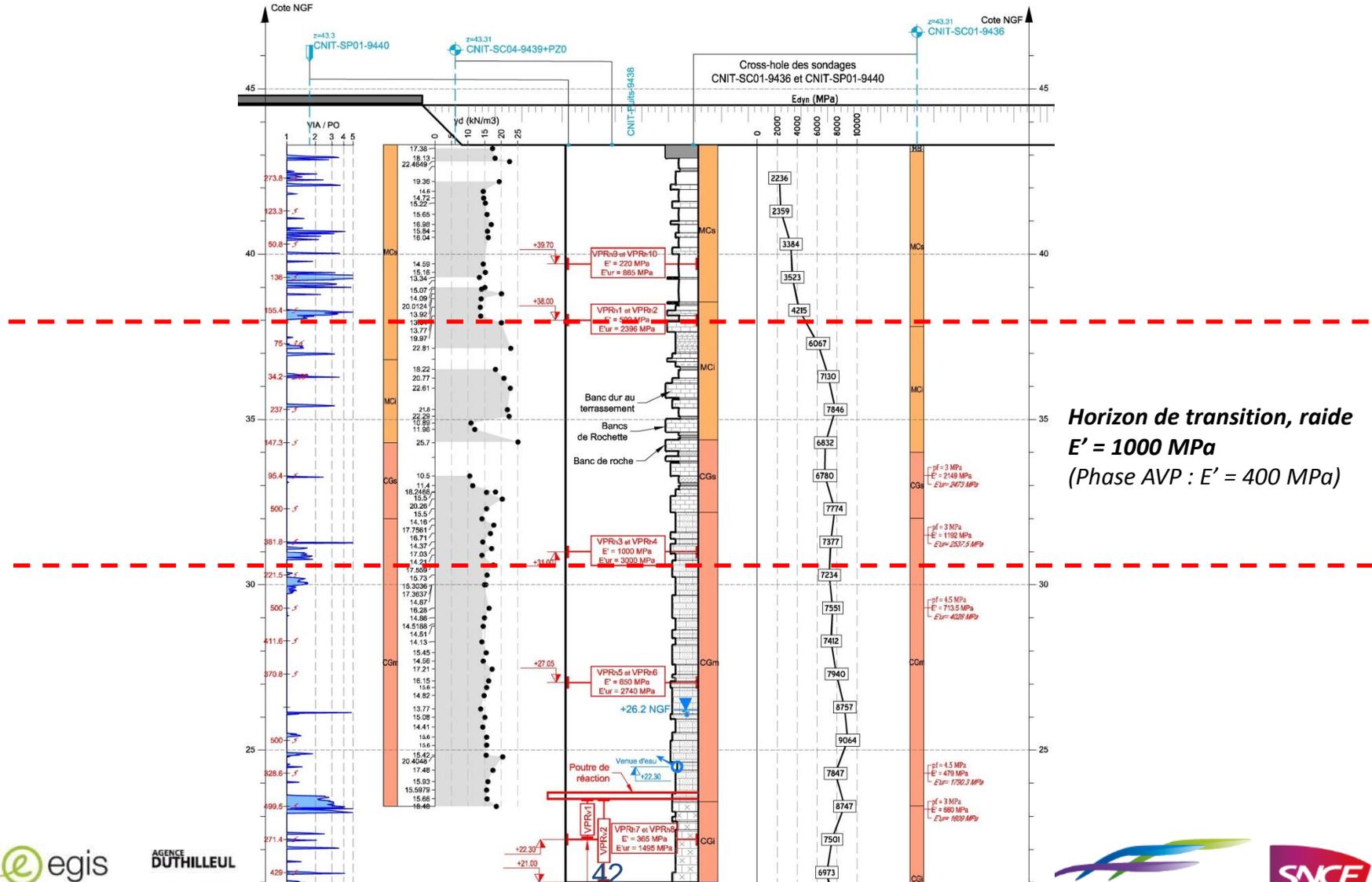
# Travaux de reconnaissances pour une nouvelle gare à La Défense

## 4 \ PRINCIPAUX RESULTATS - Géologie



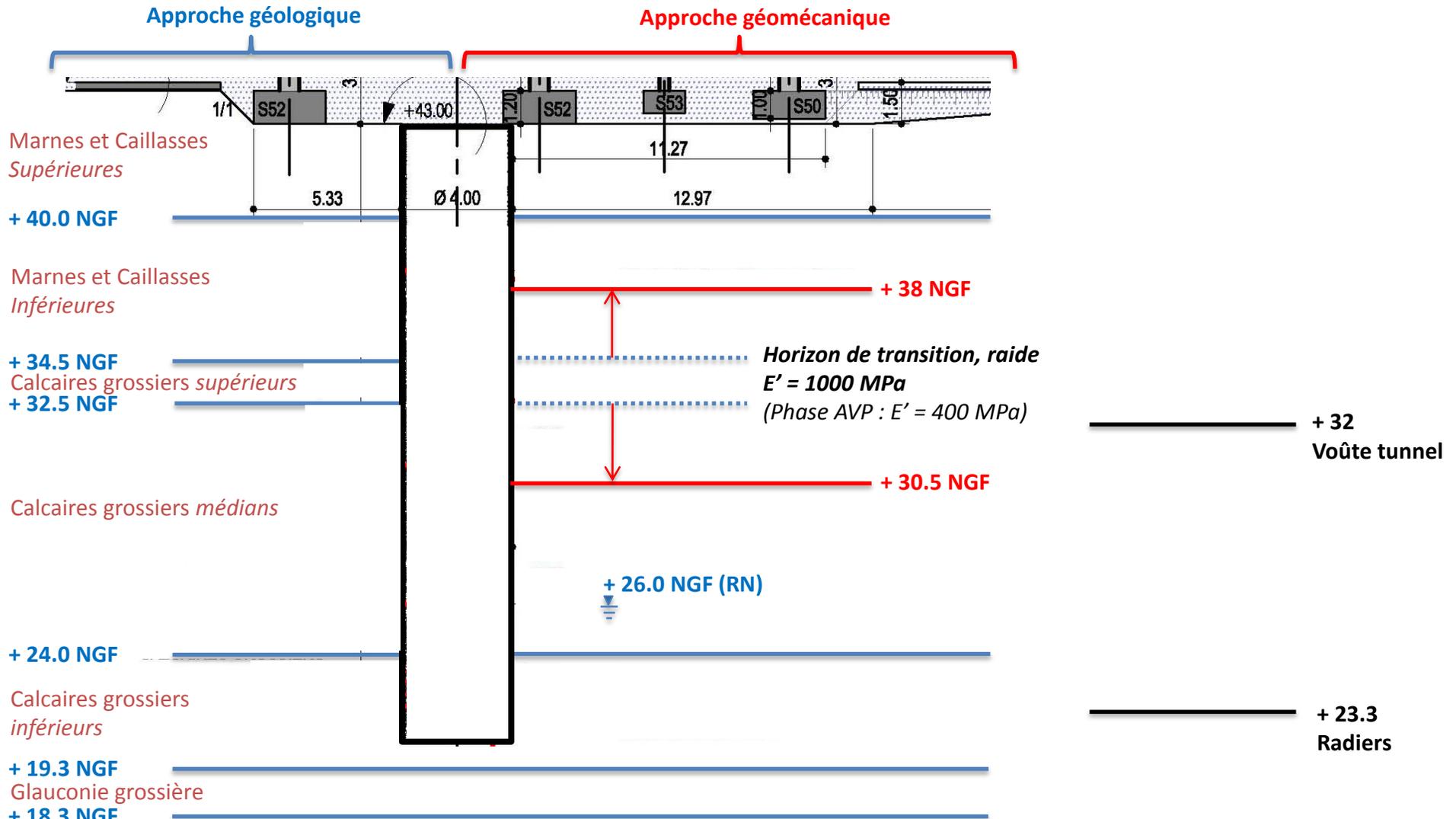
# Travaux de reconnaissances pour une nouvelle gare à La Défense

## 4 \ PRINCIPAUX RESULTATS - Géomécanique



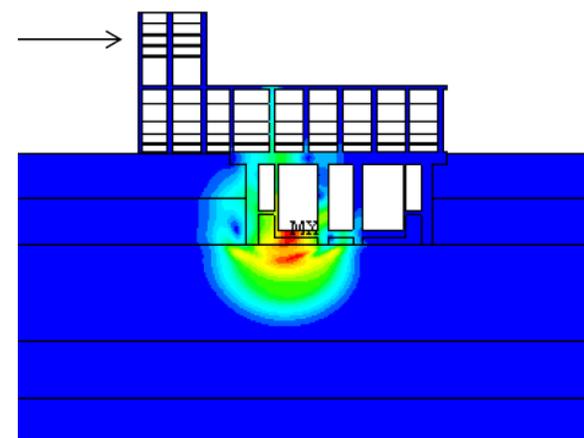
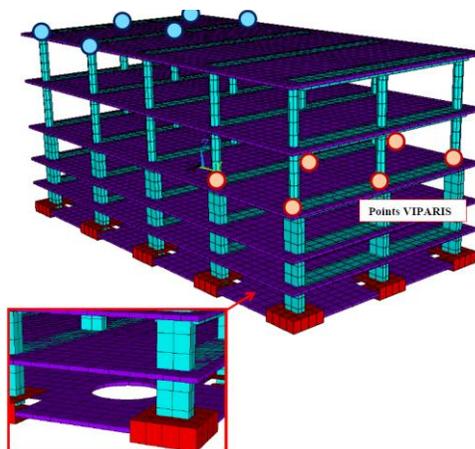
# Travaux de reconnaissances pour une nouvelle gare à La Défense

## 4 \ PRINCIPAUX RESULTATS - Géomécanique

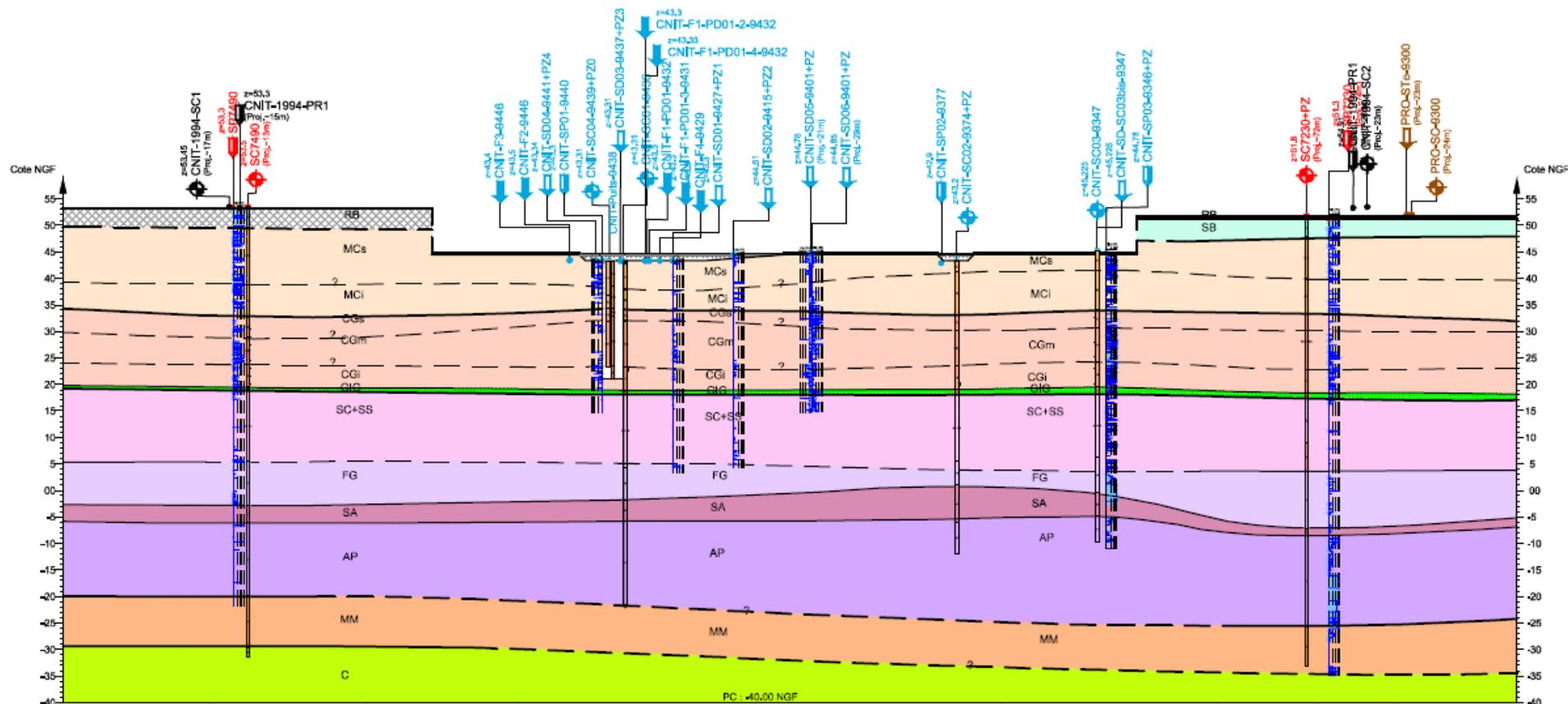


## 4 \ PRINCIPAUX RESULTATS – Etude dynamique

- PROCEDURE :
  - Essai Cross-hole à proximité du CNIT
  - Mesures de vibrations et de bruit régénéré dans les structures du CNIT (source : BRH dans le puits et excitation dynamique contrôlée par machine à balourd)
- RESULTATS :
  - Pas de plaintes des occupants pendant les travaux d'excavation
  - Niveaux sonores et vibratoires mesurés/constatés peu émergents et modérés
  - Calage des hypothèses pour des modèle numériques permettant l'estimation des nuisances sonores en phase chantier et exploitation



## 4 \ PRINCIPAUX RESULTATS – Modèle géotechnique



## CONCLUSIONS (1/2)

---

- GEOTECHNIQUES :
  - Précision de la stratigraphie avec mise en évidence d'un horizon raide en voûte des futures sections souterraines;
  - Caractérisation adaptée des formations rocheuses;
  - Définition d'un modèle géotechnique de référence;
  - Étalonnage des reconnaissances conventionnelles
- HYDROGEOLOGIE :
  - Mise en évidence de l'éponte semi-imperméable en base des calcaires grossiers, sous le radier des futures ouvrages ;
  - Validation des ordres de grandeurs des perméabilités ;
  - Etalonnage des procédures de réalisation des forages de pompage (développement,...)
- ORGANISATIONNEL / CHANTIER :
  - Test des méthodes qui seront retenues pour la phase chantier du projet;
  - Quantification des nuisances : peu d'impact des méthodes d'excavation, plus de nuisances lors du compactage des remblais de remise en état.

## CONCLUSIONS (2/2)

---

- Rôle du MOA (RFF) et de l'AMO (SYSTRA) :
  - Travaux « lourds » (interaction avec tiers, impact sur l'existant, opération coûteuse) qui nécessitent l'appui du MOA ;
  - Démarches longues : doivent être lancées dès la phase AVP pour produire des résultats exploitables en phase PRO

MERCI POUR VOTRE ATTENTION